

LEVEGŐZTETŐ MEDENCÉKBEN VÉGBEMENŐ OXIGÉN FELVÉTELI FOLYAMATOK MODELLEZÉSE

HORVÁTH IMRE

VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Béérkezett 1965. november 30-án]

A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéiben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok kísérleti vizsgálata sok össze nem egyeztethető, sőt egymásnak merőben ellentmondó eredményt mutat, ami feltehetőleg a különböző kísérletek eltérő feltételeire vezethető vissza. Az eltérő feltételek között különösen jelentős szerepet játszik a vizsgálati berendezések különböző mérete, ami a laboratóriumi mérettől a félüzemi, üzemi méretig változhat. A dolgozat a hasonlóságelmélet alapján vizsgálja a kísérleti modellek méretarányának különbözőségéből eredő kérdéseket, a különböző szennyvíztechnológiai folyamatok (hidraulika, oxigénfelvételi stb. jelenségek) modellezhetőségét, s részletesen elemzi az INKA és a KESSENER rendszerű levegőztető medencék modellezési problémáit.

Jelölések és dimenziók

- h_r a légbefúvórács bemező mélysége [m];
 d_f a légbefúvórácson levő furatok átmérője [m];
 h_k a kefe bemező mélysége [m];
 d_k a kefe átmérője [m];
 V a levegőztető medence hasznos térfogata [m³];
 v_B a levegőbuborékok felszállósebessége áramló közegben [m/óra];
 w a levegőbuborékok felszállósebessége nyugvó közegben [m/óra];
 v_k a légbefúvórács síkjában mérhető áramlási közepsebesség függőleges irányú komponense [m/óra];
 n a kefe fordulatszám [fordulat/óra];
 Q_l a befúvott levegőhozam [m³/óra];
 G egységnyi hasznos medencetérfogatra vonatkozó levegőhozam [m³/m³óra];
 ρ az áramló közeg sűrűsége [kg sec²/m⁴];
 ν az áramló közeg kinematikai viszkozitása [m²/perc];
 D az áramló közeg molekuláris diffúziós állandója [m²/perc];
 P a keverőelem (pl. a kefe) teljesítményszükséglete [m kg/sec];
 K_{La} hővitt anyagátadási tényező (ECKENFELDER nyomán) [óra⁻¹] (megjegyzés: az ábrákon feltüntetett K_{La} értékeket minden esetben 20°C-ra vonatkoztattuk. A K_{La} értékeket a szakirodalomban elterjedt definíció szerint számítható mennyiségekhez viszonyítva 2,303-mal osztottuk, így azok redukált értékeknek foghatók fel);
 T az áramló közeg hőmérséklete [°C];
 λ a geometriai méretarány fordított (reciprok) értéke, ún. átszámítási tényező;
 a, b, c, d kísérleti állandók, kitevők;
 f, f_1, f_2, f_3 függvény-operátorok;
dimenzió nélküli számok:
 $K_3 = K_{La} \cdot d_f / v_B, K_4 = G \cdot d_f / v_B, K_6 = K_{La} / n, L_1 = h_r / d_f, L_2 = h_k / d_k$;
 $E = \frac{P}{d^5 n^3 \rho}$ (teljesítményszám);
 $Re = \frac{v_B \cdot d_f}{\nu}$ (a buborékmozgásra vonatkoztatott Reynolds-féle szám);
 $Re_n = \frac{n \cdot d_k^2}{\nu}$ (a fordulatszámra vonatkoztatott Reynolds-féle szám);
 $Pr = \frac{\nu}{D}$ (Prandtl-féle szám).

Azok a λ jelek, amelyek indexekkel vannak összekapcsolva, annak a fizikai mennyiségnek az átszámítási tényezőit jelölik, amelyekre az indexek vonatkoznak. Egy vesszővel jelöljük a valóságos méretben, két vesszővel pedig a modellben lejátszódó folyamatot jellemzőit.

I. Bevezetés, a probléma felvetése

A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéiben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok a matematikai és kísérleti úton történő vizsgálatok eredményeképpen az utóbbi években egyre világosabban állnak előttünk. A kérdés elvi és gyakorlati jelentősége nyilvánvaló, hiszen a levegőztetési folyamat műszakilag célszerű és gazdaságos megoldása a szennyvíztisztításnál alapvető fontosságú.

A vonatkozó szakirodalom részletes tanulmányozása során azonban megállapítható, hogy sok az össze nem egyeztethető, sőt egymásnak ellentmondó kísérleti eredmény. Ennek oka — a szubjektív jellegű hibáktól eltekintve — valószínűleg a különböző kísérletek eltérő feltételeiben keresendő. Az eltérő feltételek között különösen jelentős szerepet játszhat a vizsgálati berendezések különböző mérete, amely a laboratóriumi mérettől a fülüzemi, üzemi méretig változhatik.

Mint ismeretes, a különböző méretű rendszerekben lejátszódó folyamatok kapcsolatainak meghatározásával a *hasonlósági elmélet* foglalkozik. Ebből következik, hogy eltérő méretekben végbemenő jelenségek vizsgálatakor az egyik rendszerről (pl. a modellről) a másik rendszerre (pl. az üzemi méretre) történő áttérés egzakt módon hasonlósági megfontolások alapján lehetséges.

A kérdés fontosságát figyelembe véve a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetben 1961-ben megkezdtük a különböző szennyvíztechnológiai folyamatok (hidraulikai, oxigénfelvételi stb. jelenségek) modellezhetőségének a vizsgálatát. Ezzel párhuzamosan az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási Tanszékének hidraulikai laboratóriumában 1963-tól kezdődően „Inka”-rendszerű légbefúvásos levegőztető medencében lejátszódó hidraulikai és oxigénfelvételi jelenségek mechanizmusát és a modellezési feltételeket vizsgáljuk kísérleti úton.

Jelen tanulmányunk célja az, hogy elméleti és kísérleti alapon vizsgálat tárgyává tegyük a légbefúvásos és a forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamat modellezésének lehetőségét és meghatározzuk a hasonlóság feltételi egyenleteit.

II. Hasonlóság-elméleti alaptételek

Mielőtt az elvégzett kísérletek elemzésébe kezdenénk, röviden foglalkozunk a hasonlóság-elmélet főtételeivel és alkalmazásának kérdésével.

A klasszikus hasonlóság-elmélet alapját három fő tétel: a Newton-, a Buckingham—Federman- és a Kirpicsov—Guhman-féle tételek képezik. E három fő tétel teljes egységet alkot és minden hasonlósági probléma megoldásának alapját képezi [1—3].

Mint ismeretes, a Kirpicsov—Guhman-féle tétel a hasonlóság szükséges és elegendő feltételeit határozza meg. Eszerint: két tetszőleges természeti folyamat hasonlóságának szükséges és elegendő feltétele az, hogy a rendszer jellemző mennyiségeiből képezhető dimenzió nélküli mennyiségek — beleszámítva a kezdeti és peremfeltételekből adódó dimenzió nélküli számokat is — a különböző méretekben lejátszódó hasonló folyamatok esetén egyenlők legyenek.

Az is közismert, hogy e tétel betartásának komoly nehézségei vannak. Ez különösen abban nyilvánul meg, hogy a legtöbb esetben egyidejűleg nem valósítható meg több dimenzió nélküli szám azonossága az eltérő méretű rendszerek esetében. Például tekintsünk egy viszonylag egyszerű hidraulikai folyamatot, amelyet csupán a Froude- és a Reynolds-féle számok jellemeznek. A különböző méretű rendszerekben azonos áramló közeg alkalmazása esetén a Froude-féle törvény szerint $\lambda_v = \lambda^{1/2}$, a Reynolds-féle törvény szerint pedig $\lambda_v = \lambda^{-1}$ transzformációs paraméterek adódnak a sebességre vonatkozóan, ami egymásnak nyilvánvalóan ellentmondó. A sebességen kívül minden egyéb fizikai mennyiségre is eltérő transzformációs paraméterekhez jutunk, a Froude-, ill. a Reynolds-féle törvény alapján.

A példából látható, hogy különböző méretű rendszerekben nem valósítható meg egyidejűleg mindkét dimenzió nélküli szám azonossága. Következésképpen nem tudjuk betartani a harmadik fő tétel előírásait, azaz nem tudjuk megvalósítani a teljes hasonlóságot.

Általánosan ismertek olyan módszerek, amelyeknek alkalmazásával a fenti nehézség adott esetben többé-kevésbé áthidalható — mint például a különböző minőségű áramló közegek alkalmazása a modellben, illetve a fő kivételben —, e módszerek azonban véleményünk szerint nem általánosíthatók. Éppen ezért alakult ki az ún. közelítő modellezés módszere, aminek a lényege az, hogy a kérdéses jelenség mechanizmusának előzetes elemzésével meghatározzuk azokat a dimenzió nélküli csoportokat, amelyek a folyamatot alapvetően jellemzik és egyúttal ellentmondást nem eredményeznek. Ezek figyelembevételével határozzuk meg a transzformációs paramétereket.

A közelítő modellezésnek e fenti módszerét általánosan alkalmazzák. Ennek ellenére az eljárás hiányossága az, hogy a kérdéses jelenséget jellemző dimenzió nélküli számokból csupán néhányat, esetleg csupán egyet vesz figyelembe. Adott esetben a nehézségek akkor merülnek fel, amikor több alapvetően jellemző dimenzió nélküli számot kellene figyelembe venni a hasonlóság megvalósítása érdekében, de az nem lehetséges (mint a fenti példa esetén). Különösen összetettebb feladatoknál jelentkeznek ilyen nehézségek (pl. hid-

raulikai folyamatok mellett anyagátadási, hőátadási, kémiai stb. jelenségek is lejátszódnak).

E probléma általánosabb megoldására újszerű eljárást dolgoztunk ki, amelyet a szakirodalomban már ismertettünk [4—6]. Megjegyezzük, hogy a módszer ismert és bizonyított modellelméleti tételeken nyugszik. Újszerűség a koncepció összességében, illetve tárgyalásmódjában van. A módszer alap-tételeit az alábbiakban röviden összefoglaljuk, mivel e tételek képezik az oxigénfelvétellel kapcsolatos modellvizsgálataink hasonlóság-elméleti alapjait.

a) Valamely tetszőleges természeti folyamat modellvizsgálata esetén kiindulási alapul a jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú, dimenzióval bíró változót tartalmazó egyenletet tekintjük, a kezdeti és kerületi feltételek figyelembevételével. A jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú, dimenzióval bíró változót tartalmazó kapcsolatot a továbbiakban *alapösszefüggés*nek, az egyenletet pedig *alapegyenlet*nek nevezzük.

b) Az alapösszefüggés, illetve alapegyenlet minden esetben dimenzió nélküli alakra hozható. E dimenzió nélküli függvény változói dimenziómentes számok. A jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú dimenziómentes változót tartalmazó összefüggést *invariáns függvény*nek nevezzük. Az invariáns függvényt tekintjük a hasonlóság feltételi egyenletének, az invariancia feltételét biztosító kapcsolatokkal együtt.

c) Nem írjuk elő azt, hogy az invariáns függvényt alkotó egyes dimenzió nélküli számok értékei kivétel nélkül azonosak legyenek a különböző méretű rendszerekben, hiszen ezt általában nem is tudjuk megvalósítani. (Tudniillik éppen ez jelenti a klasszikus hasonlóság-elmélet alkalmazásának a fentiekben már említett nehézségeit.) Csupán azt írjuk elő, hogy az invariáns függvény legyen azonos a különböző méretű rendszerek esetében.

d) Valamely természeti folyamatot jellemző dimenzió nélküli számok rendszere általánosságban véges szabad ABEL-féle csoportot alkot. Az invariáns függvény csoportelméleti szempontból a bázisrendszer elemei közötti függvénykapcsolattal egyenértékű. Ily módon a hasonló rendszerek között fennálló kapcsolatot a bázis elemei közti összefüggés jelenti.

e) Olyankor, midőn hasonlósági transzformációval az invariáns függvény invarianciája nem biztosítható, olyan transzformációt kell alkalmazni, amellyel ez megvalósítható. Ennek matematikai alapját az általános *transzformáció-elmélet* alkotja.

III. Levegőztető medencék hidraulikai modellvizsgálata

Mint hogy a levegőztető medencékben lejátszódó oxigénfelvételi jelenségek az áramlási folyamatok alapvető függvényei, kísérleteink első fázisaként a levegőztető műtárgyak hidraulikai viszonyait elemeztük. Modellkísérleteink

alaján megvizsgáltuk a forgókefés és a légbefúvásos levegőztető medencék térkialakítási kérdéseit, a levegőztető szerkezetek (rotorok, légbefúvórácsok), terelőelemek elhelyezésének a hatását stb. [7, 8]. A fenti problémák azonban nem képezik tanulmányunk tárgyát. Ezért az áramlástanai kísérleteinkből csupán a hidraulikai modellezhetőség kérdésével kapcsolatos vizsgálatok eredményeit ismertetjük összefoglalóan, mivel a hidraulikai folyamatok az oxigénfelvételi jelenségeket alapvetően befolyásolják.

A kísérleteket általában 1 : 2—1 : 10 méretarányú üvegfalú modelleken végeztük (a magyarországi viszonylatban szokásos üzemi méretekhez viszonyítva). Az áramképek rögzítését a vizuális megfigyelésen kívül fotografikus úton végeztük. Az áramlási térbe helyezett vízfajsúlyú úszók (pl. benzol-széntetraklorid-olajfesték megfelelő arányú oldatából képződő gömbúszók) elmozdulásai megrajzolták az áramlási vonalakat.

Az áramlási viszonyok vizsgálatakor feltételeztük, hogy a Froude-féle törvény érvényes. Mind forgókefés, mind légbefúvásos levegőztető medencékben kísérleti úton megvizsgáltuk a modelltörvény érvényességét, pontosságát. Ennek érdekében két különböző méretarányban megépített geometriailag hasonló modell több, egymásnak megfelelő pontjában mért sebességek alapján meghatároztuk a sebességek arányát λ_v . Minthogy a megfelelő sebességek aránya felírható a méretarány valamilyen hatványaként, a hatványkitevő kiszámítása megadja a kérdéses modelltörvényt.

Forgókefés levegőztető medencék esetében a kérdéses hatványkitevő negyven mérés átlagából számolva 0,475-re adódott [7]. Tehát a Froude-féle törvényt jó közelítéssel valóban érvényesnek lehet tekinteni, mivel eszerint $\lambda_v = \lambda^{0,5}$.

„Inka” rendszerű légbefúvásos levegőztető medencénél a hatványkitevő 0,43-ra adódott [8].

A 0,5-ös értéktől való eltérés mindkét esetben valószínűleg azzal magyarázható, hogy a jelenséget nemcsak a tehetetlenségi és nehézségi erők jellemzik (amelyeknek a hatását a Froude-féle törvénnyel figyelembe vettük), hanem a súrlódási és a kapilláris erők hatása is érvényesül.

Végeredményben megállapítható, hogy a Froude-féle törvény érvényesége közelítőleg ezúttal is fennáll. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a buborékok felszállósebessége és ennek következtében a befúvott levegőhozam sem számítható a Froude-féle törvény alapján. Igazolható, hogy a befúvott levegőhozamok transzformációs paramétere a

$$\lambda_Q = \lambda^2 \frac{w + v_k'' \lambda^{1/2}}{w + v_k''} = \lambda^2 \frac{w + v_k'}{w + v_k' \cdot \lambda^{-1/2}}$$

kapcsolat alapján számítható, ami a Froude-féle törvényből adódó összefüggéshez viszonyítva a szükséges korrekciót tartalmazza [8].

A fentiekben röviden összefoglalt hidraulikai vizsgálatokon túlmenően részletes kísérletsorozatot végeztünk a levegőztető műtárgyakkal kapcsolatban az ún. *átfolyási görbe* elméletén alapuló módszer alkalmazásával. A módszer lényege abban áll, hogy a vizsgálandó műtárgyba befolyó vízhez meghatározott koncentrációjú jelzőanyagot (pl. permanganátot, nátriumkloridot, vagy radioaktív anyagot) adagolunk és az elfolyásnál mérjük a jelzőanyag töménységének időbeli változását meghatározott kísérleti körülmények között. A kapott átfolyási görbe jellemző a vizsgált műtárgyra és a vízrészecskék műtárgyban való tartózkodásának az eloszlását írja le. Az eredmények grafikus és numerikus kiértékelésével a műtárgy hidraulikai hatásfoka, a holtterek mérete stb. megállapítható.

IV. Az oxigénfelvételi folyamat modellezése

A szennyvíztisztítási szakirodalom tanulmányozása során megállapítható, hogy a levegőztető műtárgyakban végbemenő oxigénfelvételi folyamatok modellezési kérdéseit — tudomásunk szerint — behatóan nem vizsgálták. Ugyanakkor az is közismert, hogy a kutatók különböző, sőt egymástól nagyon is eltérő méretű berendezéseket alkalmaznak kísérleteikben és a különböző méretű rendszerekből kapott eredményeket nem egyszer — korrekció nélkül — egyenértékűnek tekintik. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a különböző méretű rendszerekben általánosságban nem azonosak a lejátszódó folyamatok, a fenti megállapítások ellentmondók.

Felvetődhetik ugyan az a gondolat, hogy például egy laboratóriumi méretű élesztett iszapos levegőztető medencében levő egységnyi térfogatú folyadéktérben, ha ugyanazokat a fizikai, kémiai és biológiai jellemzőket valószínűsítjük meg, mint valamely (pl. geometriailag hasonló) üzemi méretű berendezésben (azaz a különböző méretű rendszerek egységnyi térfogataiban azonos viszonyok érvényesülnek), akkor semminemű átszámítás nem indokolt. Az átszámítás szükségtelensége az említett esetben azonban csak a biokémiai folyamat lefolyására vonatkozik. Más szóval ez esetben „triviális modellezés” esetével állunk szemben, mikor is a transzformációs paraméterek egységnyi értékűek. Ha azonban úgy tesszük fel a kérdést, hogy mekkora levegőhozam vagy kefebemerülés alkalmazandó valamely (esetleg geometriailag hasonló) laboratóriumi méretű levegőztető medencén annak érdekében, hogy a neki megfelelő üzemi méretű berendezésben mért (például) $K_L a$ -val azonos értéket kapjunk, már belátható, hogy a levegőhozamra, ill. a kefebemerülésre vonatkozó transzformációs paraméter nem lesz egységnyi, és megfelelő átszámítás szükséges. Tehát látható, hogy a „triviális modellezés” nem minden esetben vezet célhoz.

A szennyvíztisztítástól viszonylag nem messze eső szakterületen, mint pl. a fermentációs problémák kísérleti vizsgálatakor, a különböző abszorpciós vegyipari műveletekben stb. — ahol a lejátszódó anyagátadási folyamatok analógnak tekinthetők a levegőztető medencékben végbemenő folyamatokkal — a modellezés méretnövelési módszereit már több évtizede alkalmazzák, különösen keverőrendszerű reaktorok esetében. A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéi is keverőrendszernek foghatók fel, amelyekben abszorpciós folyamatok is lejátszódnak. Ez esetben konkrétan az oxigén abszorpciót emeljük ki.

A különböző keverőkben lejátszódó hő- és anyagátadási problémák modellezése széles körű irodalommal rendelkezik. Anélkül, hogy a vonatkozó szakirodalmat részleteiben felsorolnánk, hivatkozunk JOHNSTONE és THRING összefoglaló könyvére, amely a különböző abszorpciós folyamatok, a keverőrendszerek méretnövelési alapelveit ismerteti [2]. MILLER tanulmányában szintén összefoglaló jelleggel tárgyalja a kérdést [9]. SIMCAR-rendszerű levegőztető berendezés kísérleti vizsgálata során ROBERTSON érinti a méretnövelés problémáját, azonban ilyen irányú részletes vizsgálatokat nem ismertet [10].

A különböző keverőkben lejátszódó *abszorpciós folyamatok méretnövelési módszerei* az alábbiakban foglalhatók össze [2]:

a) A modellezés alapja lehet az ún. teljesítményszám:

$$E = \frac{P}{\rho n^3 d^5},$$

ami dimenzió nélküli mennyiség. Eszerint $\lambda_E = 1$ esetén

$$\lambda_p = \lambda_e \cdot \lambda_n^3 \cdot \lambda_d^5.$$

b) A méretnövelés kiindulási alapja lehet a térfogategységre eső energiafelhasználás ekvivalenciájának a betartása.

c) Geometriailag hasonló mechanikus keverőberendezések kerületi sebességének azonosítása a különböző méretű rendszereknél.

d) A Rushton-féle extrapolációs módszer.

Véleményünk szerint a fenti eljárásokkal kiragadjuk a kérdéses jelenség valamely speciális (geometriai, kinematikai vagy energetikai stb.) oldalát és ezt tekintjük a méretnövelés feltételét meghatározó kapcsolatnak. Belátható, hogy e módszerek szoros kapcsolatban vannak a klasszikus hasonlóság-elmélet, az egyes modelltörvények alkalmazásának elveivel, mivel a folyamat előzetes kvalitatív elemzése alapján kiválasztják a döntően jellemző dimenzió nélküli számot (például valamely hidraulikai folyamat vizsgálatakor a Froude- vagy a Reynolds-féle számot stb.), és azt tekintik a méretnövelés feltételi egyenletének. Ugyanakkor a többi jellemző dimenzió nélküli számot figyelmen kívül hagyják.

Tehát ezúttal is ugyanahhoz a hasonlóság-elméleti problémához jutotunk, amelyet tanulmányunk II. fejezetében általánosságban kifejtettünk. Az ott elmondottak alapján kézenfekvő, hogy az invariáns függvény elvén alapuló módszert alkalmazzuk a keverőkben lejátszódó abszorpciós folyamatok modellezésekor is. Eszerint nem állítjuk azt, hogy valamely dimenzió nélküli szám érvényes a vizsgálandó folyamat modellezésekor, hanem a fentiekben definiált invariáns függvényt tekintjük a méretnövelés feltételi egyenletének a függvény érvényességi tartományán belül.

A továbbiakban ismertetjük a légbefúvásos („Inka”-rendszerű) és a forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok modellezésével kapcsolatos kísérleteinket és azok eredményeit.

1. Inka-rendszerű berendezés vizsgálata

a) *Az oxigénfelvételt befolyásoló változók Inka-rendszerű légbefúvásos medencéknél.* A szennyvíztechnológiai folyamatok vizsgálatokor — mint más természeti jelenség kísérleti elemzésekor is — rendkívül fontos a jellemző változók helyes meghatározása. Ettől függ a kísérleti eredmények kiértékeléséből kapott matematikai kapcsolatok helyessége, illetőleg annak más, esetleg hasonló rendszerekben lejátszódó folyamatokkal történő általánosíthatósága.

Légbefúvásos levegőztető medencék oxigénfelvételi folyamatát lényegében az alábbi változók befolyásolják: a medence főbb méretei, a légbefúvás mélysége, a légbefúvó berendezésen levő furatok mérete és elhelyezése, a buborékméret, a befúvott levegőhozam, a buborékok felszálló sebessége, az áramló közeg anyagi jellemzői; a kinematikai viszkozitás és a diffúziós állandó.

Mivel a célunk az, hogy a vizsgálati berendezéshez hasonló rendszerekre általánosítsuk a kapott eredményeket, elegendő, ha a műtárgy egy jellemző hosszát vesszük számításba. E jellemző hossz méretnek a h_r rácsbemerülési mélység vehető fel, mivel ez az egyik, a $K_L a$ értékét jelentősen befolyásoló változó. A buborékméret — közvetve — a diffúziós felület révén szintén lényeges paraméter, de meghatározása (még az átlagos buborékátmérő feltevése is) nehézkes. A buborékméretet a furatméret és a befúvott levegőhozamok determinálják. ECKENFELDER szerint alacsony levegőhozam mellett a buborékok térfogata egyenesen arányos a furatátmérővel és a felületi feszültséggel, az áramló közeg sűrűségével pedig fordítva arányos. Adott légbefúvó rendszer esetén a buborékok átlagos átmérője a befúvó levegőhozam exponenciális függvénye [11]. A fentiek alapján elhanyagolhatónak tartjuk a buborékméret közvetlenül történő számításba vételét. Ily módon a légbefúvásos levegőztető medencékben lejátszódó oxigénfelvételi folyamatot befolyásoló változók kapcsolatát általános alakban — csapvízre vonatkoztatva — az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$K_L a = f_1(h_r, d_f, G, v_B, \nu, D) \quad (1)$$

(a Q_i levegőhozamot a szennyvíztechnológiában 1 m^3 medencetérfogatra szokás vonatkoztatni: $G = Q_i/V$).

A dimenzióanalízis tételeinek alkalmazásával megállapítható, hogy a fenti változókkal képezett dimenziómátrix rendszáma 2, így a dimenziós változókról a dimenziómentes változókra történő áttéréssel a változók száma kettővel csökken [1]. Ez a megállapítás a következőképpen bizonyítható:

A h_r , d_f , v_B , G , $K_L a$, ν , és a D változók dimenziómátrixa a következőképpen írható fel a tömeg (M), hosszúság (L) és az idő (T) alaplímérték-rendszerben:

	h_r	d_f	v_B	G	$K_L a$	ν	D
M	0	0	0	0	0	0	0
L	1	1	1	0	0	2	2
T	0	0	-1	-1	-1	-1	-1

Mivel e mátrix tartalmaz másodrendű nem-zérus determinánst, úgy, hogy az összes 2-nél magasabbrendű determináns értéke nulla, a mátrix rendszáma 2. A mátrix által meghatározott homogén lineáris egyenletrendszer megoldásával a következő eredménymátrix kapható:

	h_r	d_f	v_B	G	$K_L a$	ν	D
K_3	0	1	-1	0	1	0	0
L_1	1	-1	0	0	0	0	0
K_4	0	1	-1	1	0	0	0
Re	0	1	1	0	0	-1	0
Pr	0	0	0	0	0	1	-1

Csoportelméleti szempontból a $K_L a$, h_r , d_f , G , v_B , ν és a D változók a csoport elemei, bázisrendszernek pedig a d_f és a v_B változók választhatók. Megemlítjük, hogy ezzel teljesen egyenértékű más bázisrendszer is kiválasztható lenne, aminek a matematikai bizonyítása az, hogy egyenértékű bázisrendszerekkel olyan determinánsok képezhetők, amelyeknek számérték ± 1 . A d_f és v_B rendszert azért választottuk alapváltozókként, mivel így egyrészt a kísérleti munka lényegesen egyszerűsödik, másrészt ily módon közismert dimenzió nélküli számokat kapunk. Ez az alábbi megfontolások alapján igazolható.

Ha egy dimenzió nélküli függvénykapcsolatot meg akarunk határozni, akkor az azt alkotó dimenzió nélküli számokat a kísérlet során változtatni kell bizonyos intervallumban. A dimenzió nélküli számok változtatása az azokat alkotó bármelyik dimenziós változó változtatásával lehetséges. Azt a változót célszerű variálni, amelynek a mérése, változtatása a kísérlet során techni-

kialakul a legegyszerűbb. Ezzel szemben azok a változók, amelyek a kísérlet során könnyen állandó értéken tarthatók, a dimenzió nélküli számban állandók lehetnek. Ennek ellenére — mint már említettük — az egyes dimenzió nélküli számok értéke változtatható. Ha esetünkben a d_f és v_B változókat tekintjük a csoport bázisrendszerének (amelyek állandó értéken tarthatók), akkor az empirikus függvénykapcsolat grafikus úton történő meghatározása — amint a későbbiekben látható — lényegesen leegyszerűsödik.

E változókból dimenzióanalízissel az alábbi dimenziómentes számok, illetőleg azok általános függvénykapcsolata adódik:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = f_2 \left(\frac{h_r}{d_f}, \frac{G \cdot d_f}{v_B}, \frac{v_B \cdot d_f}{\nu}, \frac{\nu}{D} \right). \quad (2)$$

Elemezzük a továbbiakban végig az egyes dimenzió nélküli számokat. A

$$K_3 = \frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \frac{K_L a \cdot d_f^2 / D}{v_B \cdot d_f / D}$$

kifejezés módosított Stanton-féle számnak fogható fel, és a Nusselt- és a Peclet-féle szám aránya, amivel az anyagátadásból és a konvekcióból adódó komponensváltozást vesszük figyelembe. (A 3-as indexet azért alkalmaztuk, mivel korábbi hasonló tárgyú tanulmányainkban levezetett dimenzió nélküli számoknál a K mellett az 1 és 2 indexet már lekötöttük.) Az

$$L_1 = \frac{h_r}{d_f}$$

szimplex két jellemző hossz méret aránya. A

$$K_4 = \frac{G \cdot d_f}{v_B}$$

szintén dimenzió nélküli jellemző szám, ami a befűvott levegőhozam és a buborékok felszálló sebessége közti kapcsolatra utal. A $G \cdot d_f$ szorzat fiktív sebességnek fogható fel. A

$$\text{Re} = \frac{v_B \cdot d_f}{\nu}$$

a buboréksebességre vonatkoztatott Reynolds-féle szám. A

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{D}$$

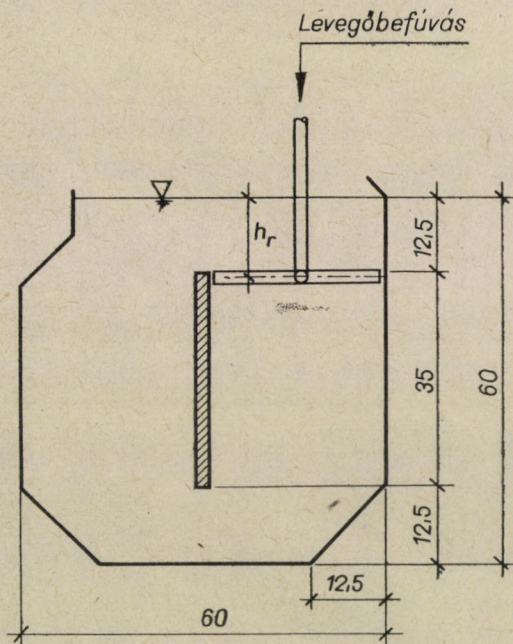
pedig a közismert Prandtl-féle szám.

Feltételezzük és be is bizonyítjuk, hogy a dimenzió nélküli változók között levő kapcsolat hatványszorzat alakú. Így a feladat: a kísérletek alapján meghatározni a dimenzió nélküli számok függvénykapcsolatát a következő alakban:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst.} \cdot \left(\frac{h_r}{d_f}\right)^a \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B}\right)^b \cdot \left(\frac{v_B \cdot d_f}{\nu}\right)^c \cdot \left(\frac{\nu}{D}\right)^d, \quad (3a)$$

ill.

$$K_3 = \text{konst.} \cdot L_1^a \cdot K_4^b \cdot \text{Re}^c \cdot \text{Pr}^d. \quad (3b)$$



1. ábra. A hatvani levegőztető medence modelljének keresztmetszeti rajza

Meghatározandók az a , b , c , d hatványkitevők és a konst. érték kísérleti mérések alapján.

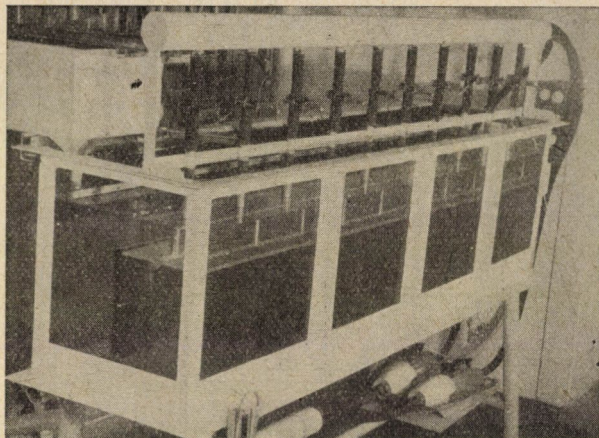
b) *A kísérleti berendezés leírása.* Kísérleteinket Hatvanban megépült főkvitelű méretű légbefúvós levegőztető medencében, illetőleg annak 1 : 6 méretarányban megépített geometriailag hasonló kismintáján végeztük. E megoldással a laboratóriumi eredmények, illetőleg azoknak hasonló rendszerekre történő átszámítási módja kísérletileg ellenőrizhető volt.

A kisminta hosszirányú hasznos mérete 2,72 m. A keresztmetszeti elrendezést a főméretekkel az 1. ábrán tüntettük fel. A légbefúvó rácson levő furatok átmérője 1,0 mm. A levegőhozamok a főkvitelnél és a modellnél egyaránt mérőperemmel mértük (3. ábra).

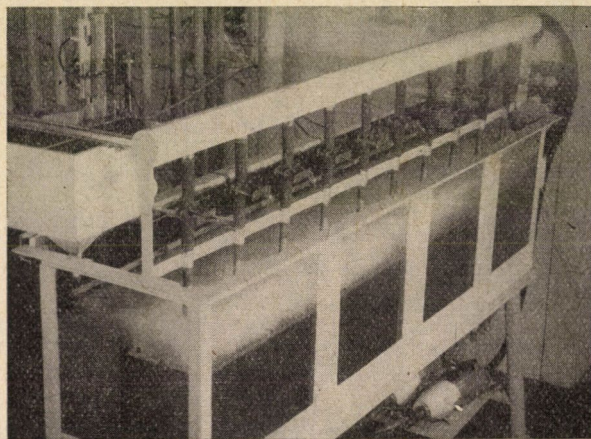
Végül néhány jellemző felvételt mutatunk be a vizsgált levegőztető medence kialakításáról és üzeméről a 2–6. ábrákon.

c) *A modellen végrehajtott oxigénfelvételi mérések.* Az oxigénfelvételi mérésekhez csapvizet alkalmaztunk. Az oldott oxigéntartalmat a Winkler-féle

a)



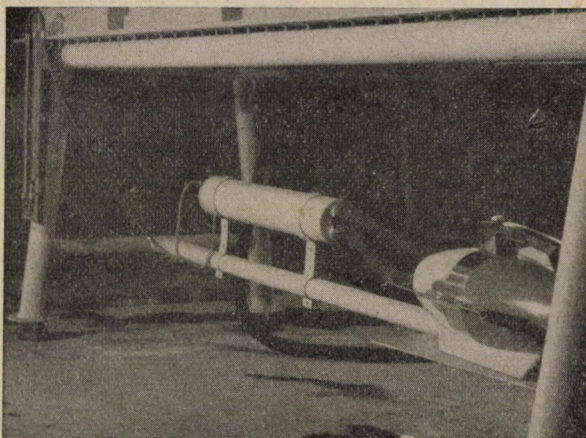
b)



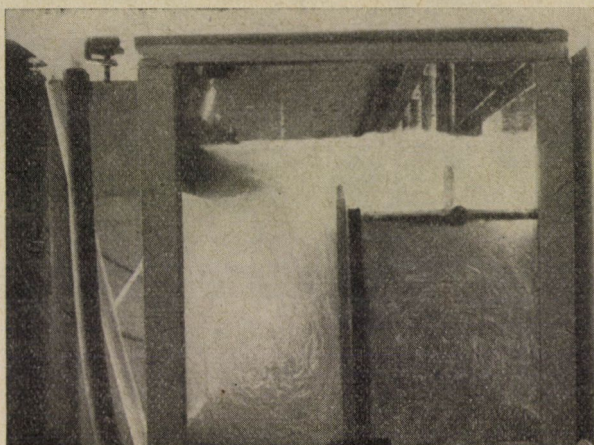
2. ábra. Az „Inka”-rendszerű légbefúvós levegőztető medence modellje (a) és működése (b)

módszerrel határoztuk meg. A C_s telítési koncentrációkat az oxigénfelvételi görbék vízszintesbe hajló szakaszáról olvastuk le. A $K_L a$ -t, illetőleg az OC-t változó oldott oxigéntartalom mellett határoztuk meg, a kezdeti oxigéntartalomnak nátriumszulfittal történő eltávolítása után. Katalizátorként kobaltkloridot alkalmaztunk.

Két kísérletsorozatot végeztünk: $h_r = 12,50$ cm, ill. $h_r = 22,00$ cm rácsbemerülésekkel. Tehát a kísérlet során változtattuk Q_l , ill. a G és a h_r értékét, ami a $K_L a$ változását eredményezi. A mintavétel a medence szimmetria-tengelye mentén a vízszint alatt 6,0, ill. 11,0 cm mélységben történt.



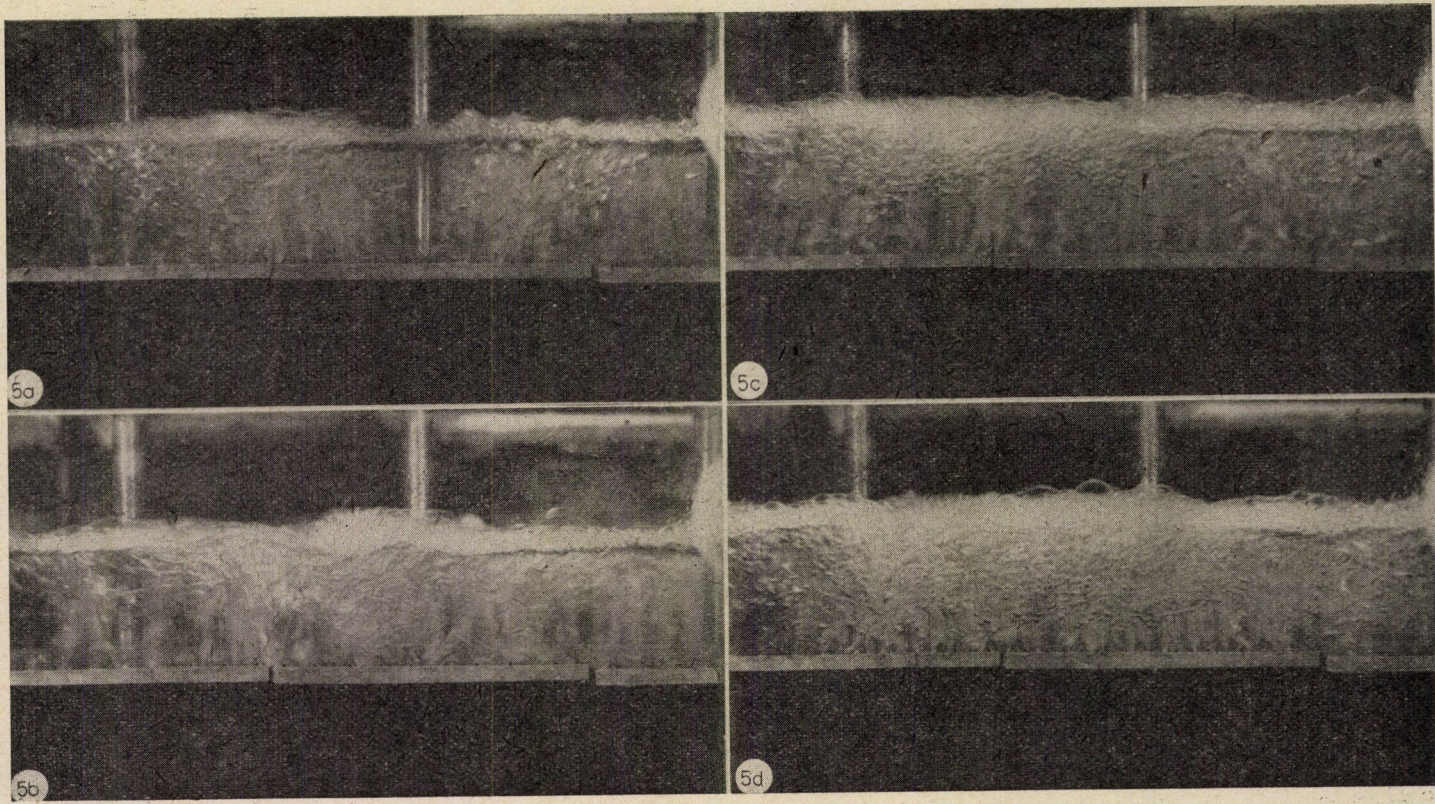
3. ábra. A levegőhozam-szolgáltató és mérő berendezés

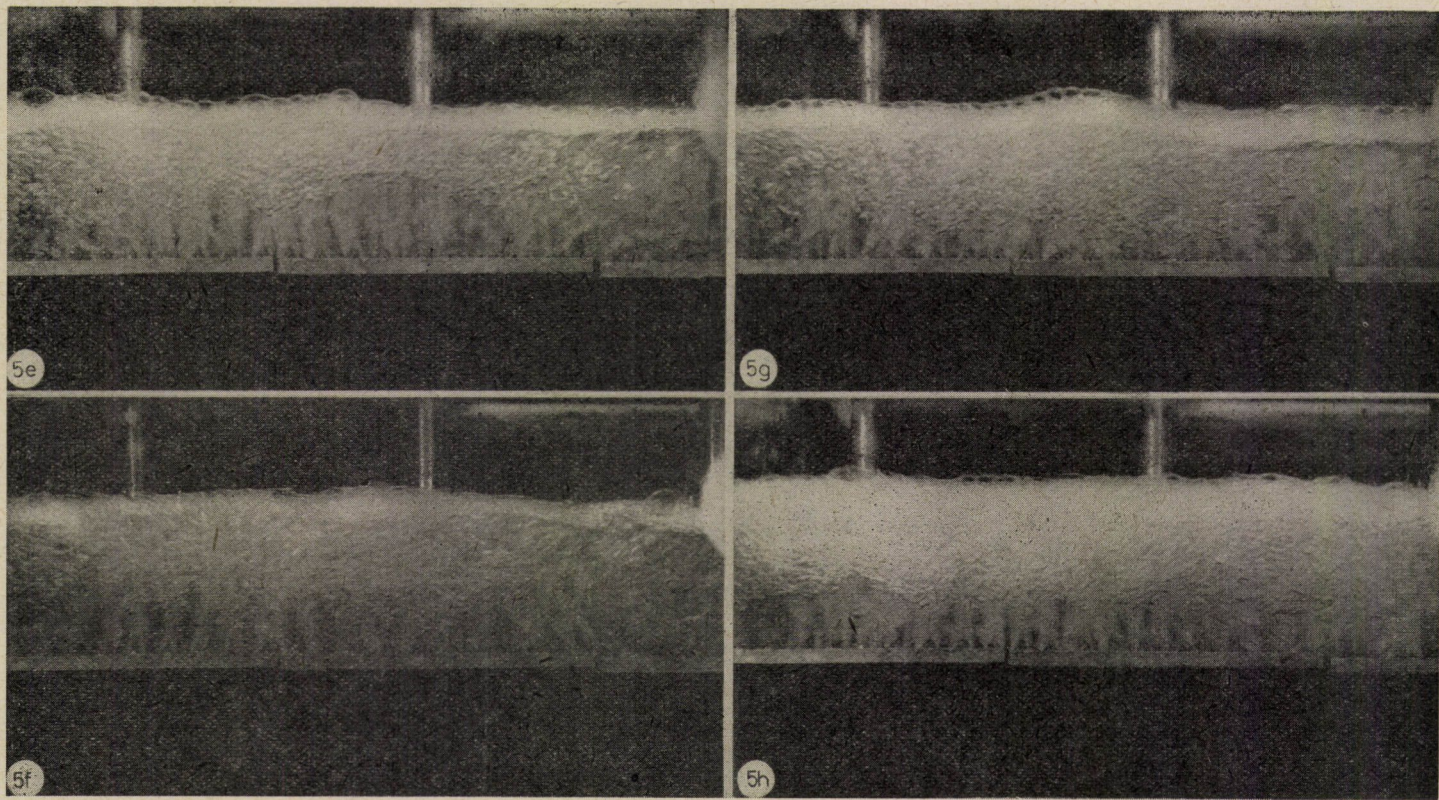


4. ábra. A légbefúvós levegőztető medence keresztmetszete az áramképpel

A Re és Pr szám hatását meglevő kísérleti eredmények alapján vettük figyelembe. A Re és a Pr számokat a hőmérséklet változtatásán keresztül a ν és a D értékek variálásával változtattuk az alábbi összefüggések alapján [12]:

$$\nu = \frac{1,778 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 T + 0,000221 T^2} \text{ [m}^2\text{/sec] (Poiseuille),}$$





5. ábra. A buborékmozgás mechanizmusa a vizsgált „Inka”-rendszerű medencében növekvő levegőhozamok esetén

és
$$D = D_{20} [1 + B (T - 20)],$$

ahol $D_{20} = 2,08 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$, és $B = 0,02$.

A különböző hőfokokra vonatkoztatott $K_L a$ értékeket a következő összefüggéssel számítottuk [13]:

$$\frac{K_L a (T^\circ \text{C})}{K_L a (20^\circ \text{C})} = 1,02^{(T-20)}.$$



6. ábra. A hatvani légbefúvásos levegőztető medence üzem közben. A kép hátsó részén látható elkerített térrészben az oxigénfelvételi vizsgálat történik

d) *A mérési adatok matematikai értékelése.* A szennyvíztisztítási szakirodalomban a levegőztető medencék oxigénfelvételi folyamatának vizsgálatakor a

$$K_L a \cdot V = f(G) \quad (4a)$$

függvénykapcsolat meghatározása szokásos. Mérési adatainkat a 7. ábrán szemléltetjük logaritmusos koordináarendszerben. Látható, hogy a pontok jó közelítéssel egyenesen helyezkednek el. Az egyenesek egyenlete:

$$K_L a \cdot V = 0,0556 \cdot G^{1,12}, \quad (4b)$$

ha

$$h_r = 12,5 \text{ cm};$$

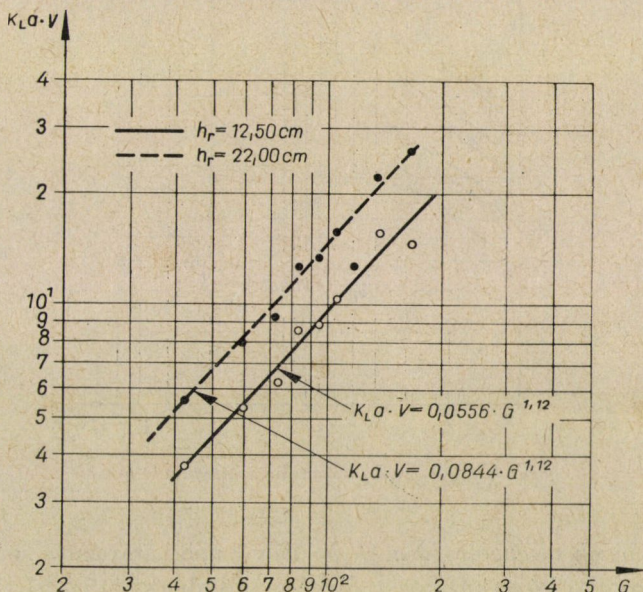
és

$$K_L a \cdot V = 0,0844 \cdot G^{1,12}, \quad (4c)$$

ha

$$h_r = 22,0 \text{ cm.}$$

Véleményünk szerint a (4) típusú összefüggések adott medencéknél feltétlenül előnyösen és könnyen alkalmazhatók tervezéshez, illetőleg adott levegőhozamhoz tartozó $K_L a$ értékek számítására. Azonban lényeges hátrá-



7. ábra. Az oxigénfelvétel sebességének és a befúvott levegőhozamnak a dimenziós kapcsolata. (Paraméter a légbefúvás mélysége)

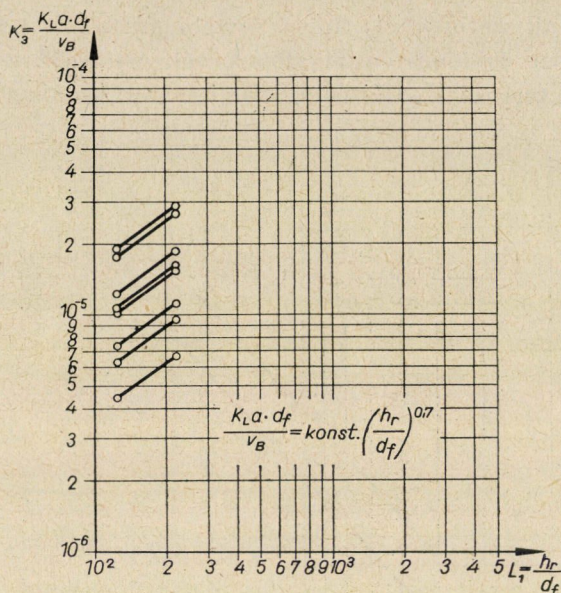
nyos tulajdonsággal is rendelkeznek. Ugyanis a konstans tényező dimenzióval bíró szám, azaz az egyenlet nem tekinthető homogénnek. Ebből pedig az következik, hogy a (4) típusú egyenletek kizárólag arra a berendezésre vonatkoztathatók, amelyen a kísérleti adatokat meghatározták. Azaz a mérési eredmények ilyen módszerrel nem általánosíthatók.

A kísérleti eredmények általánosíthatóságának érdekében a mérési adatokat dimenzió nélküli formában dolgoztuk fel. Így válik lehetővé, hogy egy adott műtárgyon, modellen végrehajtott kísérlet eredményei hasonló rendszerekre átvihetők legyenek. Ezt a szempontot figyelembe véve, az alábbiakban meghatározzuk a (3a) összefüggésben szereplő kitevőket és a konstans.

Az a értékének meghatározása. A (3a) általános összefüggésben szereplő a kitevő meghatározása a 8. ábrán feltüntetett módon történik, ahol a konstans értékében a K_L , a Re és a Pr számok is benne szerepelnek, és a kísérlet során

állandó értékűek. Az egyenesek iránytangense a keresett kitevő: $a = 0,70$.
Tehát

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst} \left(\frac{h_r}{d_f} \right)^{0,70} \quad (5)$$



8. ábra. A K_3 és az L_1 kapcsolata állandó Q esetén

A b értékének meghatározása. A b kitevő meghatározása a 9. ábrán látható. Eredményül a következő összefüggések adódnak:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 0,314 \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1,12}, \quad (6a)$$

ha

$$h_r = 12,5 \text{ cm},$$

és

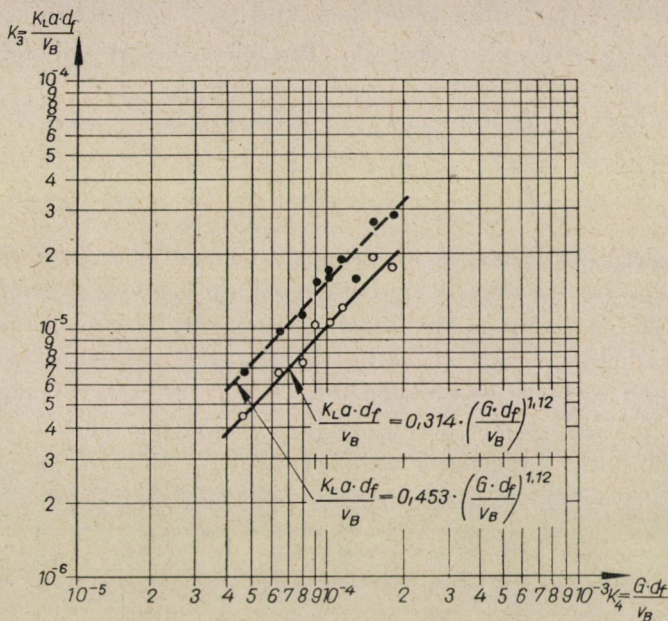
$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 0,453 \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1,12}, \quad (6b)$$

ha

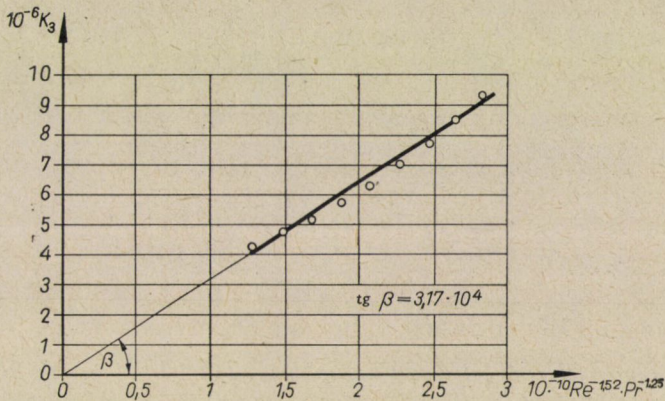
$$h_r = 22,0 \text{ cm}.$$

A c és a d értékének meghatározása. A c és a d értékének a számítása csak együtt lehetséges — amint már említettük —, mivel a Re és Pr számok változtatását a hőmérséklet variálásával végeztük. Korrelációs számítás segítségével az alábbi eredmények adódtak: $c = -1,52$, $d = -1,25$, konstans = $3,17 \cdot 10^4$. A totális korrelációs tényező értéke 0,99-nek adódott, ami függvénykapcsolat

létezésére utal. Kontrollképpen a 10. ábrán feltüntettük a vizsgált kapcsolatot. Az ábráról megállapítható, hogy a pontok görbe mentén helyezkednek el, azonban annak görbülete kicsiny és jó közelítéssel egyenessel kiegyenlíthető. Tehát a korreláció elvileg nem lineáris, gyakorlatilag azonban a linearitás fel-



9. ábra. A K_3 és a K_4 kapcsolata állandó h_r esetén



10. ábra. A $K_3 = 3,17 \cdot 10^4 \cdot Re^{-1,52} \cdot Pr^{-1,25}$ kapcsolat grafikus ellenőrzése

tételezése megengedhető. Az egyenes iránytangense megegyezik a számítással kapott konstans értékével, a függőleges tengelymetszet pedig nulla, ami egyúttal kontrollt is jelent. Eredményül tehát a

$$K_3 = 3,17 \cdot 10^4 \cdot \text{Re}^{-1,52} \cdot \text{Pr}^{-1,25} \quad (7)$$

dimenzió nélküli kapcsolat adódik.

A konstansok meghatározása. A továbbiakban az egyenletekben szereplő konstansok értékeit határozzuk meg. Mindenekelőtt megemlítjük, hogy az állandókat a fentiekben konst-sal jelöltük, de ez nem jelenti azt, hogy pl. a (3) és az (5) egyenletekben szereplő állandók azonosak. Elvi és gyakorlati szempontból a (3) egyenletben és annak különleges

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst.} \left(\frac{hr}{d_f} \right)^{0,70} \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1,12} \quad (8)$$

alakjában szereplő konstansok értékeinek ismerete lehet jelentős. A mérési adatok grafikus és numerikus kiegyenlítésével a (3)-as összefüggésben szereplő konstans $5,307 \cdot 10^7$ értékű, a (8)-as összefüggésben levő állandóra pedig $1,048 \cdot 10^{-2}$ adódott.

A vizsgált légbefúvósos levegőztetés oxigénfelvételi folyamatát jellemző dimenzió nélküli számok kapcsolatául — a mérési adatok matematikai értékelése alapján — végeredményképpen a

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 5,307 \cdot 10^7 \left(\frac{h_r}{d_f} \right)^{0,70} \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1,12} \cdot \left(\frac{v_B \cdot d_f}{v} \right)^{-1,52} \cdot \left(\frac{v}{D} \right)^{-1,25}, \quad (9)$$

illetőleg (20 °C hőmérsékletre vonatkozóan)

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 1,048 \cdot 10^{-2} \left(\frac{h_r}{d_f} \right)^{0,70} \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1,12} \quad (10)$$

összefüggések adódtak. Az egyenletek szigorúan csak a

$$\begin{aligned} 4,42 \cdot 10^{-6} < K_3 < 1,76 \cdot 10^{-5} \\ 125 < L_1 < 220 \\ 8,45 \cdot 10^3 < \text{Re} < 2,28 \cdot 10^4 \\ 2,26 \cdot 10^2 < \text{Pr} < 1,42 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

tartományban (a kísérleti intervallumban) érvényesek.

e) *Az oxigénfelvételi folyamat hasonlósági feltétele és annak kísérleti igazolása.* Tanulmányunk II. fejezetének a—e tételai szerint a vizsgált oxigénfelvételi folyamatot leíró invariáns függvénynek a (9), ill. különlegesebb esetben a (10) dimenzió nélküli kapcsolatot tekintjük. Az invariáns függvénynek, mint hasonlósági feltételnek a kísérleti igazolását elvégeztük. Esetünkben ez egyszerű volt, mivel két különböző méretű geometriailag hasonló rendszer: a modell és a főkivitel kísérleti célokra rendelkezésünkre állt.

A (9) alakú invariáns függvény kísérleti ellenőrzése azonban nehézségbe ütközik, mivel a főkiviteli berendezésben a ν és a D változók meghatározott értékkel történő változtatása, ill. pontos mérése nem volt lehetséges. Ezért csupán a (10) összefüggésből adódó hasonlósági feltétel kísérleti igazolását végeztük el, ami gyakorlati szempontból teljesen kielégítő.

A II. fejezet a–e tételei szerint az *invariáns függvény*:

$$\frac{K_L a \cdot d_f / v_B}{(h_r / d_f)^{0,70} (G \cdot d_f / v_B)^{1,12}} = 1,048 \cdot 10^{-2} = \text{konst.} \quad (11)$$

A transzformációs paraméterek, illetőleg a

$$\lambda_{K_L a} = \lambda_{r_B} = 1$$

és

$$\lambda_{h_r} = \lambda_{d_f} = \lambda$$

feltételek bevezetésével a (11)-ből a

$$\lambda_G = \lambda^{-0,107}$$

illetőleg

$$\lambda_{Q_i} = \lambda_G \cdot \lambda^3 = \lambda^{2,893} \quad (12)$$

átszámítási tényezők vezethetők le.

A (11), ill. a (12) hasonlósági feltételek kísérleti ellenőrzése céljából a főkiviteli berendezésben különböző levegőhozamok esetén meghatároztuk a $K_L a$ értékeket, amelyeket az I. táblázat első oszlopában tüntettünk fel.

I. táblázat

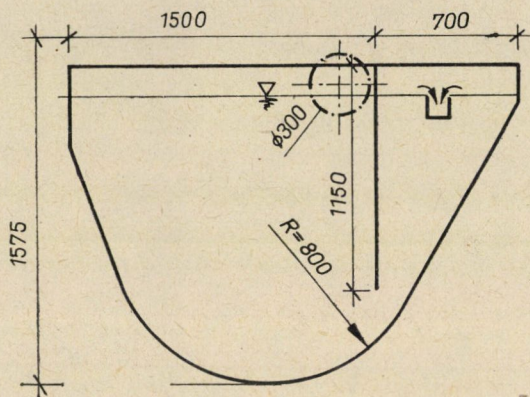
A modelltörvény érvényességének kísérleti igazolása légbefúvásos levegőztető medence esetén

$K_L a' = K_L a''$ [óra ⁻¹]	Q_i [m ³ /óra]	Q_i'' [m ³ /óra]	$\lambda_{Q_i} = \frac{Q_i'}{Q_i''}$	$\lambda_{Q_i} = \lambda^{2,893}$	$\Delta \lambda_{Q_i} \%$
3,87	6770	38,80	174,5	178,3	+ 2,13
3,40	6340	37,16	170,6	178,3	+ 4,32
3,22	6100	35,40	172,5	178,3	+ 3,25
2,36	4780	26,86	178,0	178,3	+ 0,17
1,64	3780	19,41	194,6	178,3	- 8,98

A második oszlopban a befúvott és mérőperemmel mért Q_i levegőhozamok láthatók. A (11)-nél alkalmazott feltételeknek megfelelően a főkivitelen mért $K_L a' = K_L a''$ értékeknek megfelelő G'' , illetőleg Q_i'' hozamok számíthatók a modell adataival [hiszen a (11) összefüggést a kismintán mért adatok érték-

keléséből kaptuk]. A Q_1' értékei a táblázat harmadik oszlopában láthatók. Az adatokból számítható λ_Q átszámítási tényező, aminek a (12) szerint $\lambda^{2,893} = 6^{2,893} = 178,3$ értéknek kellene lennie. A táblázat utolsó oszlopából kiderül, hogy a százalékos eltérés abszolút értéke kereken maximum 9%.

Ezzel kísérleti úton is igazolást nyert, hogy a (11) összefüggés — az invariáns függvény — modelltörvényként alkalmazható.



11. ábra. Forgókefés levegőztető medence utóülepítővel egybeépítve

2. Kessener-rendszerű berendezés vizsgálata

Az 1. pontban ismertetett vizsgálatokat — analóg módon — forgókefés „Kessener”-rendszerű berendezéssel is elvégeztük. A kísérleti, mérés-technikai és adatfeldolgozási módszerek gyanánt a már ismertetett alapelveket alkalmaztuk. Ezért a vizsgálati módszerek részletezése nélkül csupán a fontosabb lépéseket és az eredményeket ismertetjük.

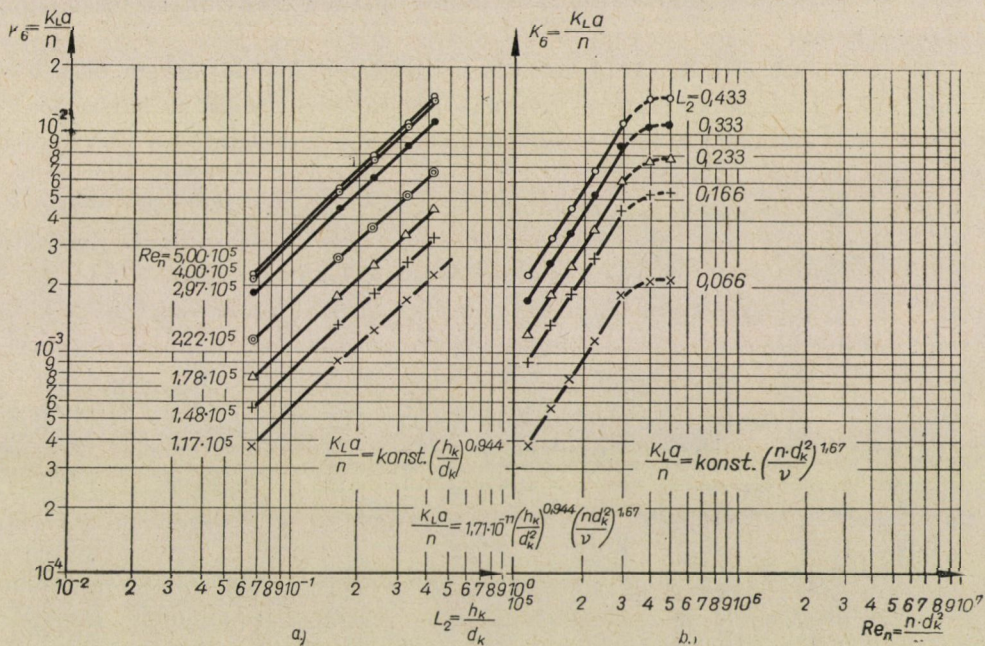
A forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamatot alapvetően az alábbi változók befolyásolják: A medence fő méretei, a kefebemerülés nagysága, a kefe típusa, a kefe fordulatszám és átmérője, az áramló közeg anyagi jellemzői; a kinematikai viszkozitás és a diffúziós állandó. Geometriailag hasonló rendszerek vizsgálatáról lévén szó, jellemző hosszúságnak a kefeátmérő tekinthető, mivel a medence fő méretei a kefe méreteivel együtt azonos méretarány szerint változnak. Ily módon a lejátszódó oxigénfelvételi folyamatot befolyásoló változók kapcsolatát általános alakban — csapvízre vonatkoztatva — az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$K_L a = f_3(h_k, d_k, n, \nu, D). \quad (13)$$

Ha a fenti változók közül *bázisrendszernek* a kefeátmérőt és a fordulatszámot választjuk, akkor a dimenzióanalízis tételei szerint (feltételezve a hat-

ványszorzat alakú összefüggés létezését) az alábbi dimenzió nélküli összefüggéshez jutunk:

$$\frac{K_L a}{n} = \text{konst.} \left(\frac{h_k}{d_k} \right)^a \cdot \left(\frac{n \cdot d_k^2}{\nu} \right)^b \cdot \left(\frac{\nu}{D} \right)^c \quad (14)$$



12. ábra. A 11. ábrán látható berendezésén végzett mérések eredményei
 a) A K_6 és az L_2 kapcsolata, Re_n paraméter
 b) A K_6 és a Re_n kapcsolata, L_2 paraméter

Határozzuk meg kísérleti mérésekkel a (14) összefüggésben levő a, b, c hatványkitevőket és a *konstans* értékeket. Kísérleteink során ezúttal sem térünk ki a ν és a D változók hatásának kimérésére, csupán a h_k és az n változókat variáltuk, aminek eredményeképpen a $K_L a$ méréssel az a és a b kitevők meghatározhatók.

Kísérleteinket a 11. ábrán feltüntetett berendezésén végeztük. Ez esetben a levegőztető medence az utóülepítővel közös vízterű volt, illetőleg egy függőleges válaszfal részlegesen választotta azokat ketté. A mintákat a levegőztető, ill. az utóülepítő tér szimmetriatengelyében a vízszint alatt 50 cm mélységben vettük.

A mérések eredményeit a 12. ábrán tüntettük fel. Eszerint a jellemző változók között levő dimenzió nélküli kapcsolat gyanánt a levegőztető térre

vonatkozóan a következő összefüggés adódik:

$$\frac{K_L a}{n} = 1,71 \cdot 10^{-11} \left(\frac{h_k}{d_k} \right)^{0,94} \left(\frac{n \cdot d_k^2}{\nu} \right)^{1,67}, \quad (15a)$$

ill.

$$K_6 = 1,71 \cdot 10^{-11} L_2^{0,94} \cdot \text{Re}_n^{1,67}. \quad (15b)$$

A 12. ábrán feltüntetett mérési adatok alapján a következő megállapítások tehetők:

a) A kísérleti adatoknak hasonlóság-elméleten alapuló matematikai feldolgozásával megállapítható a jellemző paramétereknek az a határértéke, amelynél az áramlás a lamináris jellegű állapotból a turbulens állapotba lép át. A határértékeket célszerűen a Reynolds-szám kritikus értékével lehet jellemezni. Esetünkben a kritikus Reynolds-féle szám értéke $3 \cdot 10^5$, amely értéknél a 7a. ábra grafikonjai egyenesből görbevonalba, majd vízszintesbe mennek át. A görbevonalszakasz átmeneti tartomány létezésére utal.

b) A lamináris tartományt azonban csak quasi-laminárisnak lehet tekinteni, mivel gyakorlatilag ez esetben is észlelhetők a sebességek pulzációs összetevői.

c) Az oxigénfelvétel sebességét jellemző $K_L a$ értékeknek az üzemeltetést jellemző változókkal való kapcsolata a lamináris jellegű és a turbulens állapotok esetén különböző. Az elméleti hidraulikai megfontolásoknak megfelelően turbulens állapot esetén az oxigénfelvétel sebességét a Reynolds-féle szám nem befolyásolja.

Az elvégzett modellkísérlet során kapott (15) összefüggés a II. fejezetben tett elvi megfontolásaink alapján szintén hasonlósági feltételként fogható fel. Ennek kísérleti igazolását azonban nem végeztük el.

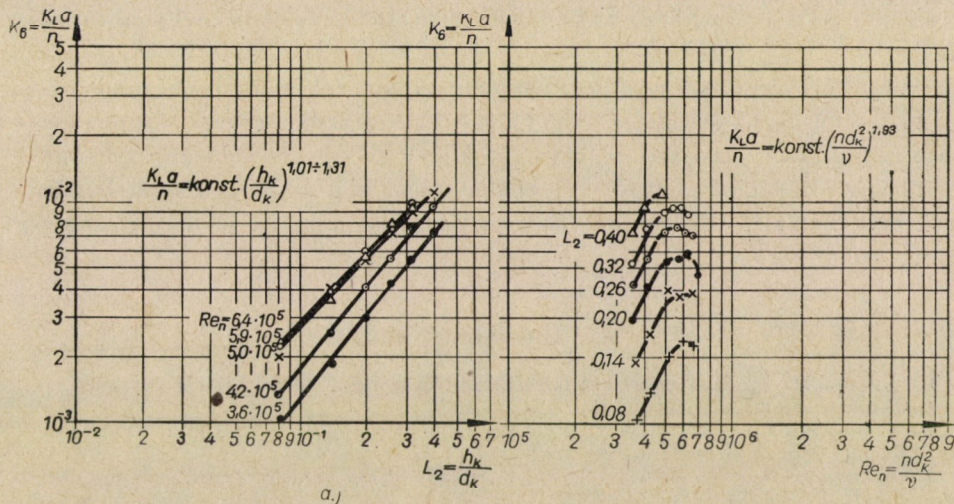
A hasonlósági megfontolásokon túlmenően az alábbi — gyakorlati szempontból is jelentős — megállapításokat tettük: az ülepitő tér üzemeltetése esetén kisebb OC, ill. $K_L a$ értékek mérhetők a levegőztető térben. A levegőztető és az ülepitő tér összes oxigénfelvétele kisebb, vagy közel egyenlő a levegőztető tér térfogatára (az ülepitő tér kikapcsolása esetén) vonatkoztatott oxigénfelvételnél. Ennek oka valószínűleg az, hogy a levegőztető medencéhez közvetlenül csatlakozó közös vízterű ülepitő oxigénfelvételi szempontból holtternek tekinthető.

3. A hazai kísérletek alátámasztása szakirodalmi adatokkal

A forgókefés rendszerű levegőztető medencével kapcsolatban végzett kísérleteink eredményeinek alátámasztására elvégeztük a szakirodalomban már meglevő néhány részletesebb kísérleti adatsor hasonlósági megfontolások alapján történő feldolgozását. Ezúttal BAARS és MUSKAT által végzett mérések eredményeinek feldolgozásából ismertetünk egy példát [14]. 50 cm átmérőjű

szögvas rotor esetén (a fogszélesség és a fogközök aránya 1 : 1,5) mért OC értékekből számítható $K_L a$ -k alapján a 12. ábrának megfelelően a 13. ábrán tüntettük fel a dimenzió nélküli kapcsolatokat. Látható, hogy a két ábrán feltüntetett görbesereg erős rokonságot mutat. Megállapítható továbbá, hogy

a) a Reynolds-féle szám kritikus értéke $4 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ határok között változik az L_2 értékétől függően. Minél nagyobb a kefebemerülés, ill. az L_2 dimenzió nélküli szám, annál kisebb a kritikus Reynolds-féle szám értéke.



13. ábra. A mérési eredmények ellenőrzése számítással J. MUSKAT nyomán:

- a) A K_6 és az L_2 kapcsolata Re_n paraméter
 b) a K_6 és a Re_n kapcsolata L_2 paraméter

b) A $K_L a$ -nak és a h_k kefebemerülésnek a kapcsolatáról megállapítható, hogy lamináris jellegű állapot esetén h_k kitevője közelítően 1,31, turbulens állapot esetén kerekén 1,0. A laminárisból a turbulens állapotba történő áttérésnél valószínűleg található oly átmeneti tartomány, amelyben az 1,31-es kitevő fokozatosan az 1,0 értékbe megy át.

c) A $K_L a$ és a fordulatszám kapcsolatánál hatványkitevőnek 2,93, a kefeátmérőnek a kapcsolatánál pedig — lamináris állapot esetén — 2,55 érték adódott. A fenti kitevők turbulens állapotra vonatkozó értékeinek meghatározásánál valószínűleg célszerű a Froude-féle számot figyelembe venni.

d) A kefeátmérő és a fordulatszám hatását a kefe kerületi sebességével szokás figyelembe venni. Ezért adódik a két kitevő azonosnak. Vizsgálataink szerint azonban célszerű a fenti két változónak az oxigénfelvétel sebességét jellemző $K_L a$ értékkel való kapcsolatát külön-külön meghatározni. Ezt a fenti kiértékelésen túlmenően az alábbiakkal indokolhatjuk:

Igaz ugyan, hogy a kerületi sebesség mind a kefeátmérővel, mind a fordulatszámmal egyenesen arányos, azonban a levegőztető medencékben kiala-

kuló áramlási és oxigénfelvételi folyamatot nem azonos intenzitással befolyásolják. Ez úgy látható be legegyszerűbben, ha meggondoljuk azt, hogy a fordulatszám az áramló rendszernek átadódó tehetetlenségi erőt befolyásolja, viszont a kefe átmérőjének növekedése — azonos bemerülési mélységet tételezve fel — a tehetetlenségi erőn kívül a súrlódási erő növekedését is maga után vonja. Hiszen nagyobb átmérőjű kefe azonos kefebemerülés esetén nagyobb felületen érintkezik az áramló közeggel.

e) A 8b. ábra szerint a turbulens tartományban a Reynolds-féle szám növekedésével a K_6 csökken. Ezt a jelenséget saját kísérleteinknél nem tapasztaltuk.

Végül a hidraulikai és oxigénfelvételi folyamatok modellezési módszereinek összetevésével kapcsolatosan a III. és a IV. fejezetben leírtak alapján megállapíthatjuk, hogy az áramlási folyamatok hasonlósági vizsgálatánál a Froude-féle törvény kielégítő pontosságot eredményez, míg az oxigénfelvételi jelenségek vizsgálatánál az invariáns függvény elvén alapuló modellezési módszer célravezetőbb.

IRODALOM

1. LANGHAAR, H. L.: Dimensional Analysis and Theory of Models. John Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York—London 1951.
2. JOHNSTONE, R. E.—THRING, M. V.: Pilot Plants, Models and Scale Up Methods in Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York 1955.
3. KIRPICSOV, H. V.—KONAKOV, P. K.: Matematikesszükije oszнови tyeorii podobija. A. N. SzSzSzR, Moszkva 1949.
4. HORVÁTH I.: A hasonlóságról. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 1—2 (1963), 195—202.
5. HORVÁTH, I.: Az invariáns függvény, mint a hasonlóság feltétele. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 3—4 (1964), 551—568.
6. HORVÁTH I.: A modellalkotás mint tudományos kutatási módszer. *Magyar Filozófiai Szemle* 2 (1965), 161—191.
7. HORVÁTH I.: A forgókefés eleveniszapos szellőztetőmedencék kismintavizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 3 (1963), 257—265.
8. HORVÁTH I.: Légbefúvásos szellőztetőmedence hidraulikai kismintavizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 3 (1965), 134—142.
9. MILLER, D. N.: Liquid Film Controlled Mass Transfer in Agitated Vessels. *Industrial and Engineering Chemistry* 56 (1964) 18—28.
10. ROBERTSON, W. S.: Evaluation of the Simcar Aerator for Trade Effluent Treatment. *Journal and Proceedings* 37 (1964), 585—596.
11. ECKENFELDER, W. W.: Absorption of Oxygen from Air Bubbles in Water. *Journal of the Sanitary Engineering, Division* 85 (1959) 88—89.
12. RAMM, V. M.: Abszorpciós eljárások a vegyiparban. Akadémiai Kiadó, Budapest 1953.
13. ECKENFELDER, W. W.—OLONNOR, D. J.: Biological Waste Treatment. Pergamon Press, Oxford—London—New York—Paris 1961.
14. BAARS, J. K.—MUSKAT, J.: Oxigenation of Water by Bladed Rotors, *Report No 28 of TNO*, The Hague; 1958
15. DOBBINS, W. E.: Mechanism of Gas Absorption by Turbulent Liquids, International Conference on Water Pollution Research London, September 1962. Pergamon Press, Oxford—London—New York—Paris 1964.