

OURren ON-LINE BALIOESPENA AKTIBATUTAKO LOHIEN PROZESUAN

G. Tapia¹ eta E. Ayesa²

¹EUITI. Elektronika eta Telekomunikazio Saila. Donostia

²CEIT. Ingurugiro Saila. Donostia.

Abstract

The oxygen uptake rate (OUR) is an essential parameter of activated sludge processes, as it may reveal changes in bioactivity, influent load, or identify certain events, such as sudden pollutant increases in the influent. A new OUR estimation method, alternative to conventional respirometers, is presented. In addition to avoiding complex structures in parallel with aeration tanks, this algorithm allows to keep their dissolved oxygen (DO) levels within reasonable limits.

Laburpena

Oxigeno disolbatua, hondakin-uren tratamenduaren barruan kokatzen diren aktibatutako lohien prozesuetan parte hartzen duen ezinbesteko aldagaia da. Izan ere, hondakin-uretako gai organikoa metabolizatzen duten bakterio heterotrofo eta autotrofoen hazkuntza aerobioak, oxigeno-kontzentrazioa maila jakin baten inguruan mantentzea eskatzen du.

Era berean, aipatutako prozesuetako oxigenoaren kontsumo-abiadura neurtzen duen oxigenoaren erabilera-tasa (OUR) ezagutzea beharrezkoa da, oxigeno-kontzentrazioa mantentzearen, une bakoitzean injektatu beharreko aire-emaria finkatzeko.

Horretarako, egitura arrunta duen ur-araztegi bateko ontzi oxiko bakoitzean ezarri beharreko OUR neurgailua diseinatzen da lan honetan. OURen balioa on-line balio-esteko gai izateaz gain, orain arte respirometroek erabilitako egitura paralelo konplexu eta garestiak ordezkatzeko aukera eskaitzen du.

SARRERA

Aktibatutako lohien prozesu konbentzionalaren oinarritzko funtzionamendua honakoa da: Aireztapen-ontzira, araztu beharreko emari influentearen nahastura eta sedimentadoretik datozen birzirkulazio-emaria sartzen dira (1. irudia). Azken honek, erreaktorea emari influenteko gai organikoa metabolizatzen duten mikroorganismo hornitzen du. Mikroorganismo eta gai organikoz osatutako fluxu honek (aktibatutako lohiak) erreaktorea zeharkatzen duen heinean, mikroorganismoek gai hau konposatu egonkor bihurtuz metabolizatzen dute.

Sedimentadorera igarotakoan, ur gaina eta prezipitatu bereizteari ekiten zaio. Lohia erreaktorera birzirkulatzen den bitartean, ur gaina gai organikotatik garbi geratzen da eta oinarritzko ur-korrontera itzul daiteke. Aldi berean, sistematik lohi-zati bat (purga-emaria) egotzi beharra dago mikroorganismoen hazkuntza orekatzearren.

Zenbait egoeratan nitrifikazio izeneko oxidazio-modu bat gertatzen da. Erreakzio honetan, proteinen hausturaren

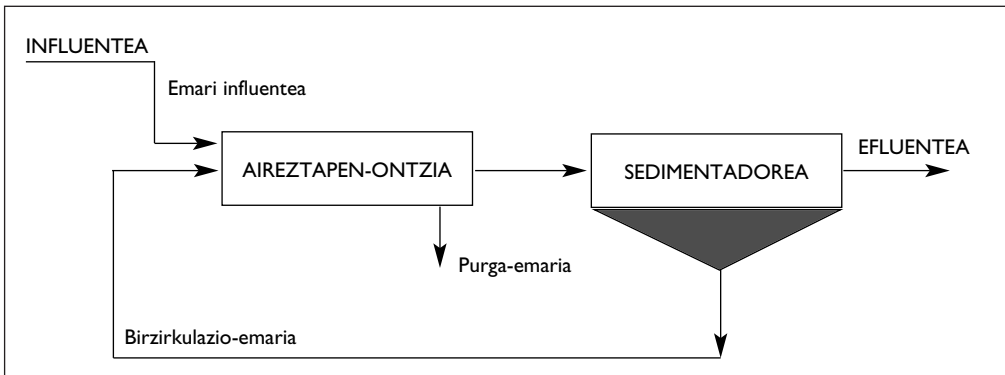
emaitza den amonioa nitrato nahiz nitritotara oxidatzen da.

Orain artean, prozesu hauetan mikroorganismoek bolumen- eta denbora-unitateko kontsumitzen duten oxigeno disolbatua (*OUR*) on-line neurtzearen, aireztapen-ontziarekin paraleloan jarritako respirometroak erabili izan dira. Araztegian emaitza fidagarriak lortu nahi badira, sistema hauen egitura oso konplexua izaten da erreaktoretako hondakin-uraren karga, oxigeno disolbatuaren kontzentrazioa (*DO*) eta abarreko baldintzak ordezkatu asmoz. Beraz, on-line neurketa-prozesu horren garapena, erreaktorearekin paraleloan jarritako respirometroak saihestuta errazteak badu abantailarik.

OXIGENO DISOLBATUAREN BALIOESPENA

Prozesuaren kontrola, ontzi oxiko bakoitzean kokatutako oximetroaren seinalea jasotzen duen ordenadore baten bidez egiten da.

Oximetroak lehen ordenako sistematizat har daitezkeenez, berauen erantzuz



I. irudia. Aktibatutako lohien prozesu konbentzionalaren eskema.

naren berezko atzerapena eta neurketa-prozesuan zehar sor daitezkeen zarak direla eta, laginketa-une bakoitzean ematen dituzten neurriak ez datoz zehazki bat ontzi bakoitzeko benetazko oxigeno disolbatuaren balioekin.

Horregatik, sentsore hauen izaera ezagutuz gero eta seinalea iragazi ondoren lortzen diren neurrien bitartez, balioespena egiten da oxigeno disolbatuaren benetako baliotara ahalik eta gehien hurbiltzeko asmoz.

Edozein errektoretako benetako oxigeno disolbatua balioestearren, bertako oximetroaren erantzuna ondorengo ekuazioaren bidez ereduztatzen da:

$$t_c \frac{dDO_m}{dt} = -DO_m + DO \quad (1)$$

non t_c sentsorearen denbora konstantea, DO_m sentsoreak antzemandako oxigeno disolbatua iragazi ondoren eta DO benetako oxigeno disolbatua diren.

DO ren balioa ezagutu nahi bada, aurreko espresiotik askatzea nahikoa da. Hala ere, DO_m edozein laginketa-

-unetan ezaguna izanagatik, bere deribatua ezezaguna denez, ezin daiteke DO zehazki kalkulatu. Beraz, DO zuzen balioestearren arazoa, laginketa-une bakoitzean

$$\frac{dDO_m}{dt}$$

deribatua hurbilketa ona aurkitzera mugatzen da. Horrela, k laginketa-unean honakoa betetzen da:

$$DO_e(k) = DO_m(k) + t_c \left(\frac{dDO_m}{dt} \right)_e(k) \quad (2)$$

non "e" azpiindizeak balioespena adierazten duen.

Lan honetan, laginketa-une bakoitzari dagokion deribatua une horretako eta aurreko n laginketa-unetako DO_m -ren balioen arabera aztertzen da. Horretarako, Taylor-en polinomioaren bidezko hurbilketa erabiliz, hurrengo ekuazio-sistema eraikitzen da k laginketa-unean:

$$\begin{bmatrix} -T & \frac{T^2}{2!} & -\frac{T^3}{3!} & \dots & (-1)^n \frac{T^n}{n!} \\ -2T & \frac{2^2 T^2}{2!} & -\frac{2^3 T^3}{3!} & \dots & (-1)^n \frac{2^n T^n}{n!} \\ -3T & \frac{3^2 T^2}{2!} & -\frac{3^3 T^3}{3!} & \dots & (-1)^n \frac{3^n T^n}{n!} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -nT & \frac{n^2 T^2}{2!} & -\frac{n^3 T^3}{3!} & \dots & (-1)^n \frac{n^n T^n}{n!} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{dDO_m}{dt} \right)_e(k) \\ \left(\frac{d^2 DO_m}{dt^2} \right)_e(k) \\ \left(\frac{d^3 DO_m}{dt^3} \right)_e(k) \\ \dots \\ \left(\frac{d^n DO_m}{dt^n} \right)_e(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DO_m(k-1) - DO_m(k) \\ DO_m(k-2) - DO_m(k) \\ DO_m(k-3) - DO_m(k) \\ \dots \\ DO_m(k-n) - DO_m(k) \end{bmatrix} \quad (3)$$

non T laginketa-aldia den.

Koefizienteen matrizea Vandermonde-rena denez, ekuazio-sistema hau beti bateragarri determinatua dela ikusten da. Gainera, ezaugarri honi esker, analitikoki erraz ebatz daitekeena da. Izan ere, Vandermonde-ren determinantearen kalkulua sinplea denez, Cramer-en erregelak, determinanteen oinarritzko propietate batzuekin batera,

$$\left(\frac{dDO_m}{dt} \right)_e (k)$$

erraz askatzeko aukera ematen du.

Azkenik, lortutako hurbilketa (2) ekuazioan ordezkatzuz, erabili beharreko balioespena honako hau dela ondoriozta daiteke:

$$DO_e(k) = \left(1 + \frac{t_c}{T} C_0 \right) DO_m(k) + \frac{t_c}{T} \sum_{i=1}^n C_i DO_m(k-i) \quad (4)$$

non

$$C_i = (-1)^i \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^n j^2}{\prod_{j=1}^n j!} \prod_{j=2}^n \prod_{k=1, k \neq j}^{j-1} j-k; i = 1, 2, \dots, n \text{ eta } C_0 = -\sum_{i=1}^n C_i$$

diren.

OUR-EN ON-LINE BALIOESPENA

Erreaktore oxikoetako oxigenoaren kontrol-sistemak, oxigeno-kontzentrazioa iharduera biologikoaren arabera aldatzen den DO_{level} balioaren inguruan

mantentzeko aukera ematen du. Dena/deus ez motako kontrola izatea erabaki da, *OUR*en aldi bereko kalkulua onartzeaz gain sinpleena delako.

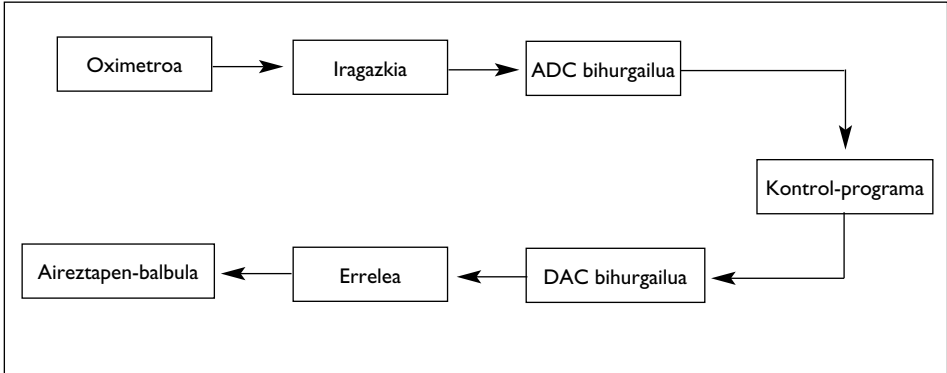
Ordenadorez egindako oxigeno eta *OUR*en kontrol orokorrerako sistema, ondoko etapen segidan datza: *OUR*en arabera aldatzen diren goi- (DO_{max}) eta behe-mugak (DO_{min}) ezarri ondoren, aireztapena itzalita egonik balioetsitako oxigeno disolbatua goi-mugaren azpitik dagoen bitartean, sistema bere kabuz bilakatzen uzten da, oxigeno disolbatuaren jaitsieramaldak *OUR* balioesteko aukera ematen duelarik. Estimatuako oxigeno disolbatua behe-mugaraino jaisten denean, aireztapena martxan jartzen da goi-muga iritsi arte. Prozesu hau

ziklikoki errepikatzen da, eguna amaitutakoan *OUR*en profila lortzen delarik.

Ondoren deskribatuko den on-line balioespen-moduak erabiltzen duen softwarea 2. irudiko bloke-diagraman erakusten da.

Esan bezala, *OUR* kalkulatzeko, balioetsitako oxigeno disol-

batuaren kurbaren bilakaera aztertzen da aireztapena gelditu ondoren (3. irudia). Pizte-itzaltzealdiek eragiten dituzten ondorioak saihesteko, balioespen-saiakuntza ez da aireztapena eteten den une berean hasten, baizik eta estimatuako oxigeno disolbatuari $\Delta DO = DO_{max} - DO_{min}$ tartearen portzentaia bat jaisten uzten zaio *OUR*en balioespena hasi aurretik. Saiakuntza



2. irudia. Softwarearen bloke-diagrama.

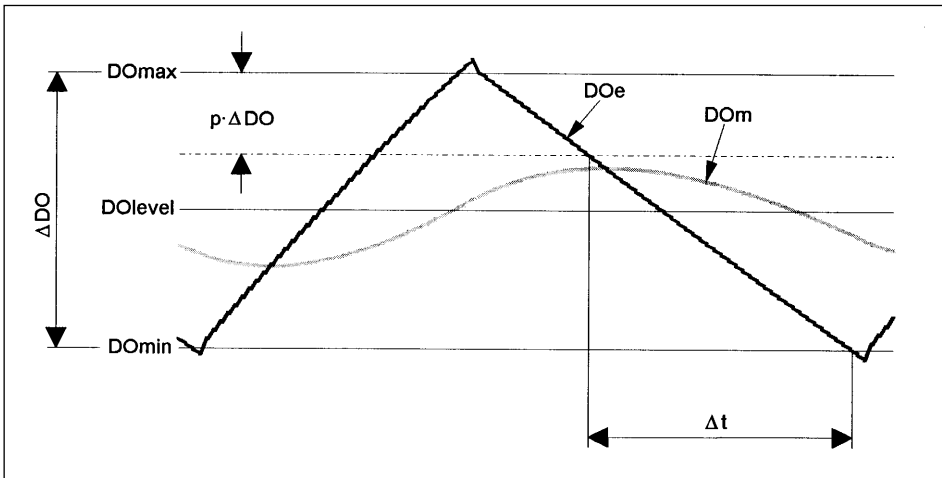
aireztapena DO_{min} -an berriro aktibatuta bukatzen da.

Dena/deus ez kontrolaren ΔDO tartea eta p portzentaia finkatu eta saiakuntzaren Δt iraupena neurtu ondoren, OUR ondoko ekuazio diferentziala ebatziz lortzen den formularen bidez kalkulatu da:

$$\frac{dDO}{dt} = -\frac{q}{V} DO - OUR \quad (5)$$

non q erreaktoretik irteten den hondakin-ur emaria eta V erreaktorearen bolumena diren.

Aurreko espresioak, erreaktorean sartzen den oxigeno-kontzentrazioa arbuizatzear gain, aireztapen ezaren egoera isladatzen du. OUR saiakuntzan zehar konstante mantentzen dela onartzen bada, (5) ekuazioa analitikoki ebatz daiteke eta ondoko ingurune-baldintzekin batera,



3. irudia. OUR en balioespen-parametroak.

$t = 0$ denean (saiakuntzaren hasiera),

$$\begin{aligned} DO &= DO_{\max} - p\Delta DO = \\ &= (1-p)DO_{\max} + pDO_{\min} \end{aligned} \quad (6)$$

$t = \Delta t$ denean (saiakuntzaren bukaera),

$$DO = DO_{\min}$$

bere balioa honela balioesten da:

$$OUR_e = \frac{q \left(DO_{\min} - ((1-p)DO_{\max} + pDO_{\min}) e^{-\frac{q}{v}\Delta t} \right)}{v \left(e^{-\frac{q}{v}\Delta t} - 1 \right)} \quad (7)$$

(5) ekuazioko $-q/V$ DO fluxu-gaia alde batera uzterik badago, oxigenoaren bilakaeraren profila maldatzat $-OUR$ duen zuzena bihurtzen da. Kasu honetan, OUR en balioa hurrengo espresioaren bidez ez ezik,

$$OUR_e = \frac{(1-p)(DO_{\max} - DO_{\min})}{\Delta T} \quad (8)$$

erregresio lineala aplikatuz ere kalkula daiteke. Gainera, erregresio-koefizientearen arabera, egindako hipotesiaren fidagarritasuna azter daiteke.

LABORATEGI-MAILAKO EGIAZTAPENA

Azaldutako DO eta OUR en balioespen-bideen emaitzak ikusteko asmoz, laborategi-mailako ur-araztegi batean

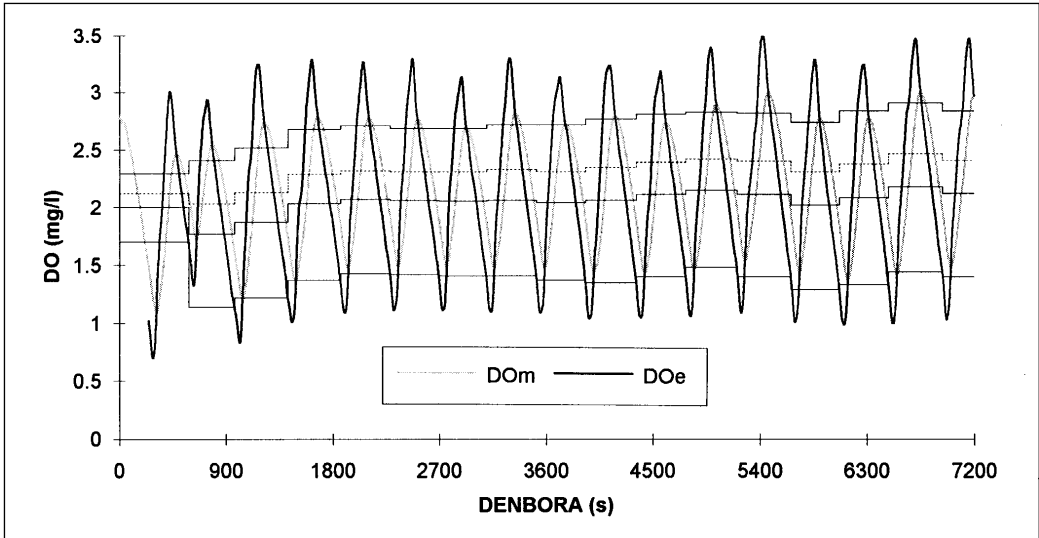
ezarri dira kontrol-programa baten bidez. Ondoko bi entseiuak burutzeko erabili den oximetroaren denbora-konstantea 70 segundokoa da. Gainerako parametroentzat aukeratutako balioak $n = 6$, $T = 2$ s eta $p = 0.3$ izan dira.

4. irudian dena/deus ez kontrolaren izaera agertzen duten uhinak ikus daitezke. Gehienetan, DO_m kurbaren hasierako balioetan iragazkiaren egoera iragankorraren eragina nabaritu ohi da (ez saiakuntza honetan). Hori dela eta, balioespena hasi aurretik 4 minutu igarotzen uzten dira iragazkiaren erantzuna egonkortzat jo

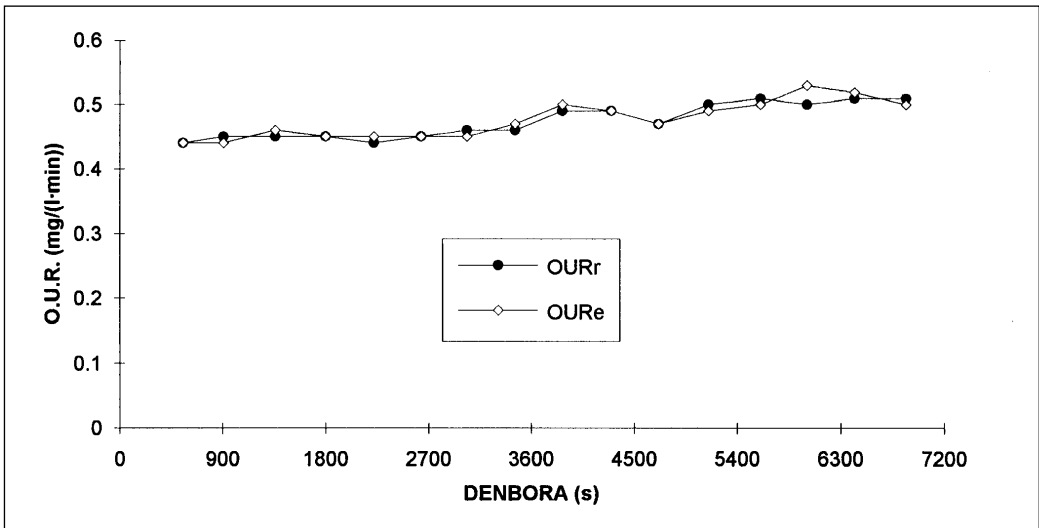
ahal izateko. Une horretatik aurrera, DO_e kurba DO_m kurbari aurreratzen zaio oximetroaren denbora konstanteak neurketa-prozesuan zehar sortzen duen atzerapena gaindituz.

Aireztapena etenik dagoeneko 4. irudiko DO kurba-zatien profilak linealtzat jo daitezkeenez (berauen erregresio-koefizienteak 0.99 eta 1 bitartekoak baitira), OUR en balioespen-saiakuntzak (8) ekuazioa erabiliz nahiz erregresio linealaren bidez burutu dira. 5. irudian aipatutako bi metodo hauen bidez lortutako emaitzak konparatzen dira. OUR_e -z izendatutako balioak lehen metodoari dagokion (8) espresioa aplikatuz lortu dira, eta OUR_r -k ordezkaturikoak zeinuz aldatutako erregresio zuzenen maldei dagozkie.

6. irudian grafikoki aurkezten den entseiu berri honen helburua, *Spanjers eta Olsson-ek (1992)* garatutako respirometroaren bidez eta proposatutako balioespen-modua erabiliz lortutako



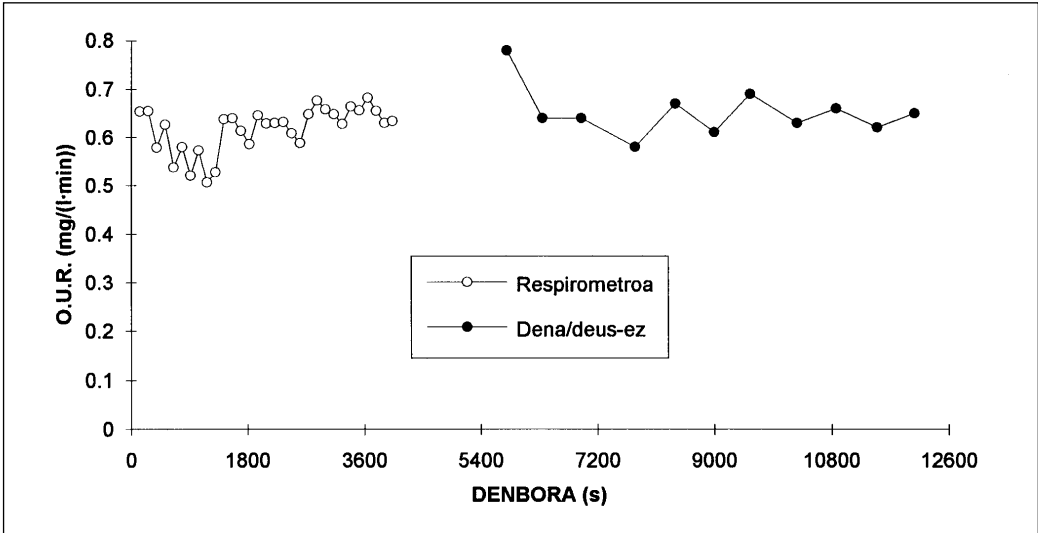
4. irudia. Dena/deus ez kontrolaren DO uhinak.



5. irudia. OURen balioespen-saiakuntzetako emaitzen arteko konparazioa.

OURen arteko konparazioa egitea da. Erregresio-koefizientea kasu guztietan 0.98 eta 0.99 bitartekoa izan denez, $-q/V DO$ gaia bazter uztea zilegi izan da. Bi metodoen egoera iragankorren

eraginei dagozkien hasierako balioak kenduz gero, OURen bilakaerak elkarren arteko antz handia dute, araztegiaren funtzionamendu egonkorri dago-kion moduan.



6. irudia. Proposatutako OURren balioespen-algoritmoaren eta respirometroaren metodoaren arteko konparazioa.

ONDORIOAK

Deskribatutako sistemak, *OUR*ren balioa balioesteko topatzen diren oinarritzko bi zailtasunak alboratzeko bidea eskaintzen du. Batetik, oxigeno disolbatuaren balioespenak, sentsorearen erantzun dinamikokoaren erduztatze-arazoa konpontzen du. Bestetik, *OUR*ren saiakuntza aireztapena moztuz egiten denez,

$K_L a$ oxigeno-transferentzia aldi berean balioetsi beharra saihesten da.

Gainera, ur-araztegiarekin zuzen-zuzenean aritzeak respirometroak aireztapen-erreaktorearekin paraleloan garatzen duen prozesua alboratzen duenez, *OUR*ren on-line balioespen-modu sinpleagoa izteaz gain, merkeago ere bada.

BIBLIOGRAFIA

- Brocken S.M., Braae M. and Dold P.L. (1988). *Dissolved oxygen control and oxygen utilization rate estimation: extension of the Holmberg/Olsson method*. Wat. Sci. Tech., 21.alea, Brighton, 1197-1208. orr.
- Carlsson B. (1993). *On-line estimation of the respiration rate in an activated sludge process*. Wat. Sci. Tech., 28.alea, No. 11-12.zk. 427-434. orr.
- Goto M. and Andrews J.F. (1985). *On-line estimation of oxygen uptake rate in an activated sludge process*. In Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems, R.A.R. Drake Ed., Pergamon Press, 465-472. orr.

- Holmberg U. and Olsson G. (1985). *Simultaneous on-line estimation of oxygen transfer rate and respiration rate*. IFAC Modelling and Control of Biotechnological Processes, Noordwijkerhout, 205-209.orr.
- Holmberg U. (1986). *Adaptive dissolved oxygen control and on-line estimation of oxygen transfer and respiration rates*. AIChE's Annual Meeting, Miami Beach, azaroa, 1-9.orr.
- Holmberg U., Olsson G. and Andersson B. (1988). *Simultaneous DO control and respiration estimation*. Wat. Sci. Tech., 21.alea, Brighton, 1185-1195.orr.
- Howell J.A., Yust L.J. and Reilly P. (1984). *On-line measurement of respiration and mass transfer in an activated sludge aereation tank*. Journal WPCF, 56.alea. 4.zk., 319-324.orr.
- Marsili-Libelli S. (1990). *Adaptive estimation of bioactivities in the activated sludge process*. IEE Proceedings, 137.alea, 6.zk. azaroa.
- Spanjers H. and Olsson G. (1992). *Modelling of the dissolved oxygen probe response in the improvement of the performance of a continuous respiration meter*. Wat Res, 26.alea, 7.zk. 945-954. orr.