

“Modelling biological organic matter and nutrient removal processes from wastewater using respirometric and titrimetric techniques”

Modelització dels processos d'eliminació biològica de matèria orgànica i nutrients d'aigües residuals mitjançant tècniques respiromètriques i titrimètriques

Resum de la tesi – Albert Guisasola Canudas

L'augment en la demanda d'aigua en el segle XX va provocar la necessitat de tractar l'aigua residual abans de ser retornada al medi natural. L'eliminació de la matèria orgànica, nitrogen i fòsfor de les aigües és indispensable per a evitar el fenomen de l'eutrofització. L'eutrofització és defineix com el sobre enriquiment de les aigües en nutrients, que provoca un creixement excessiu d'organismes i la desaparició de l'oxigen en l'aigua. En aquesta tesi, s'han desenvolupat calibrat i validat un model per cadascun dels principals processos d'eliminació biològica de nutrients: eliminació de matèria orgànica, oxidació biològica de nitrogen (nitrificació) i eliminació biològica de fòsfor (EBPR).

Aquests models s'han desenvolupat per a que puguin ésser fàcilment calibrats amb mesures convencionals d'una EDAR com oxigen i pH. Així doncs, aquests models poden ésser calibrats amb mesures respiromètriques i titrimètriques. Per una banda, la respirometria és la mesura i interpretació de la velocitat de consum biològic d'oxigen. Aquesta velocitat (OUR) ens aporta informació molt útil, per exemple sobre la velocitat del procés. D'altra banda, la titrimetria és basa en la mesura de la velocitat de producció (o consum) de protons (HPR). Aquesta velocitat es mesura mitjançant la monitorització de la quantitat d'àcid i base afegida al sistema per a mantenir-lo a un cert pH constant.

A més a més, cal utilitzar eines matemàtiques per assegurar la fiabilitat dels valors dels paràmetres estimats. Els intervals de confiança dels paràmetres són tan importants com el mateix valor del paràmetre. La metodologia per a la determinació de l'error en l'estimació dels paràmetres està basada en la matriu de Fisher (FIM), que es considera un indicador de la quantitat d'informació continguda en les dades experimentals.

S'ha desenvolupat un nou model per a la descripció de l'eliminació biològica de matèria orgànica. Aquest model inclou la descripció del creixement i emmagatzematge simultani de substrat extern. A més a més, s'ha estès per a ésser calibrat usant mesures titrimètriques, és a dir, el model descriu l'evolució de CO₂ en el reactor i la producció (o consum) de protons durant el procés. El model es va calibrar amb èxit usant respirometria i titrimetria aportant informació molt útil i interessant sobre el sistema.

També s'ha desenvolupat un nou model per a la descripció del procés de nitrificació. Aquest model està basat en models de dues etapes trobats en la bibliografia i s'ha estès per a ésser calibrat amb titrimetria. La fase gas es modela com un una sèrie de RCTAs per a una descripció més acurada del perfil de CO₂. El model també inclou la descripció i modelització de la fase d'acceleració típica dels experiments discontinus amb respirometria i amoni com a substrat. El model conté més de 40 paràmetres que cal estimar. Alguns d'ells es van extreure de la literatura i altres foren calculats amb experiments específics. En aquesta tesi s'ha posat especial èmfasi en la caracterització de les limitacions per substrat (oxigen i carboni inorgànic) del procés de nitrificació. La resta dels paràmetres es van estimar amb mesures convencionals : oxigen i pH.

Finalment, es va modelar el procés de EBPR. El model usat és una modificació del conegut model ASM2. La modificació més important introduïda és la inclusió del glicogen com a component i, per tant, tots els processos on aquest hi està inclòs. Aquest model es va usar amb èxit per a estudiar les diferències entre l'acetat i el propionat com a font única de carboni, per a provar noves estratègies per a la millora de l'eficàcia en l'arrencada d'un sistema EBPR en un reactor discontinu seqüencial i per a estudiar la coexistència de el donador d'electrons (matèria orgànica) i l'acceptor (oxigen).

“Modelling biological organic matter and nutrient removal processes from wastewater using respirometric and titrimetric techniques”

PhD Thesis summary – Albert Guisasola Canudas

The increase in water demand in the 20th century brought the necessity of water treatment before being restored to the environment. The removal of organic matter (COD), nitrogen and phosphorus from wastewater is required to avoid the phenomenon of eutrophication. Eutrophication is defined as the over-enrichment of a water body with nutrients, resulting in excessive growth of organisms and depletion of oxygen concentration. A model for each of the main biological nutrient removal processes is developed, calibrated and validated in this thesis: biological COD removal, nitrification, Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR)

These models were developed so that they could be calibrated with common WWTP measurements: oxygen and pH. Therefore, the models are calibrated using respirometric and titrimetric techniques. On the one hand, respirometry is the measurement and interpretation of biological oxygen consumption rate. The oxygen uptake rate (OUR) profile gives information of the process rate. On the other hand, titrimetric techniques are based on the measurement of the proton production rate (HPR) through the amount of acid and base dosed to the system to maintain the pH constant.

Moreover, mathematical tools should be used to ensure the reliability of the parameter estimation values. Confidence intervals are as important as the parameter estimation value itself. The parameter estimation error assessment methodology used in this thesis is based on the Fisher Information Matrix (FIM), which is regarded as an indicator of the amount of information contained in the experimental data.

A new model for the description of the biological COD removal process was developed. The major achievement of this model was the inclusion of the simultaneous growth and storage on external substrate process. Moreover, it was extended to be calibrated with titrimetric measurements. This means that the model described the evolution of the CO₂ profile in the reactor and the proton production (consumption) in each process. The model was successfully calibrated using respirometric/titrimetric measurements and helpful information of the system was obtained.

A new model for the description of the nitrification process was developed. This model was based on previous two-step nitrification models of the literature and extended with titrimetry. Moreover, the gas phase has been modelled as a serial of different CSTR for a better description of the CO₂ profile. This model also included the description and modelling of the acceleration phase, typical from respirometric batch experiments with ammonium as substrate. The model contained more than forty parameters which needed to be estimated. Some of them were assumed from the literature. Some of them were calculated developing specific experiments. This thesis focused on the characterisation of the substrate limitation on the nitrification process and oxygen and inorganic carbon limitations were deeply analysed. Finally, the rest of the parameters were estimated with on-line common measurements: oxygen (OUR) and pH (HPR).

Finally, the EBPR process was also modelled. The model used was a modification of the widespread ASM2 model. The main modification introduced is the inclusion of glycogen as a component and, therefore, the inclusion of all the processes where glycogen is involved. This model was successfully used to study the differences between acetate and propionate as sole carbon source, to test new control strategies for the improvement of the start-up efficiency of a EBPR process in a Sequencing Batch Reactor and to study the effect of the coexistence of the electron donor (organic matter) and the electron acceptor (oxygen).