



LENGVAI SKAIDOMŲ ORGANINIŲ MEDŽIAGŲ SUSIDARYMO PIRMINIO DUMBLO HIDROLIZĖS PROCESO METU TYRIMAI

Edgaras ŠIAULENSKIS¹, Regimantas DAUKNYS²

VGTV Aplinkos apsaugos ir vandentvarkos inžinerijos katedra

El. paštas: ¹edgaras.siaulenskis@stud.vgtu.lt; ²regimantas.dauknys@vgtu.lt

Anotacija. Siekiant užkirsti kelią eutrofikacijos procesui biogeninėms medžiagoms valybose nuotekose taikomi griežti reikalavimai. Biologiškai skaidomų organinių medžiagų trūkumas yra viena iš priežasčių, dėl kurios azoto ir fosforo junginiai iš nuotekų šalinami neefektyviai. Pirminio dumblo hidrolizės procesas yra vienas iš būdų, kurio metu galima pagaminti lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų ir taip užtikrinti reikalaujamą biogeninių medžiagų pašalinimą iš nuotekų. Pirminio dumblo hidrolizės tyrimams naudotas pirminis dumblas iš Vitebsko (Baltarusija) nuotekų valyklos ir Vilniaus nuotekų valyklos. Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui nustatyti buvo analizuota pirminio dumblo išbuvimo trukmė, $ChDS_{filtr.}$, trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas, bepelenių sausų medžiagų suskaidymas. Tyrimų atlikti, esant 20,8 °C vidutinei temperatūrai, 7,4 pradinei pH reikšmei, 76,7 % pradinei BSM koncentracijai SM koncentracijos atžvilgiu. Nustatyta rekomenduojama optimali dumblo išbuvimo trukmė – 6 paros. Pagal minėtas sąlygas $ChDS_{filtr.}$ susidarymo efektyvumas lygus 66,5 %, TGLRR susidarymo efektyvumas lygus 59,5 %. Šie rezultatai pasiekti, kai BSM suskaidymas buvo 4,6 %.

Reikšminiai žodžiai: pirminio dumblo hidrolizė, lakiosios riebalų rūgštys, fosforo šalinimas, „Batch“ testas, cheminis deguonies suvartojimas.

Įvadas

Organinės medžiagos ir skendinčiosios medžiagos iš nuotekų pašalinamos efektyviai (98–99 %), tačiau bendrojo azoto (N_b) ir bendrojo fosforo (P_b) šalinimo efektyvumas dažniausiai yra nepakankamas (Gupta ir Ali, 2013; Henze, van Loosdrecht, Ekama ir Brđjanovic, 2008). Į gamtinę aplinką patekęs biogeninių medžiagų perteklius sukelia eutrofikacijos procesą. Optimali medžiagų proporcija, pagal kurią mikroorganizmai vartoja teršalus, aprašoma santykiu C:N:P, o jų reikšmės atitinkamai yra 100:5:1 (Mulkerrins, Dobson ir Colleran, 2004; Houweling, Dold ir Barnard, 2010). Valomose nuotekose yra biogeninių medžiagų perteklius organinės anglies atžvilgiu, todėl ne visada pavyksta užtikrinti reikalaujamą valytų nuotekų kokybę pagal fosforo ir azoto junginius. Šiam tikslui yra naudojamas išorinis anglies šaltinis, tačiau jis didina eksploatacijos kaštus. Siekiant užtikrinti optimalius nuotekų valymo eksploatacijos kaštus bei tinkamą išvalymo kokybę, kaip organinių teršalų šaltinis gali būti naudojamos trumpos grandinės lakiosios riebalų rūgštys (TGLRR), pagamintos pirminio dumblo hidrolizės proceso metu.

Nuotekose yra lėtai biologiškai skaidomų organinių teršalų, kurie sudaro sunkiai pasisavinamos anglies dalį. Tokių teršalų, kaip nesuardyti baltymai, angliavandeniai ar riebalai, mikroorganizmai tiesiogiai pasisavinti negali. Pirminio dumblo hidrolizės reakcijų metu, veikiant mikroorganizmų neląsteliniais fermentais, susidarę produktai gali būti fermentuoti į TGLRR. Hidrolizės būdu padidintas lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų kiekis leidžia optimizuoti C:N:P santykį nuotekose ir taip pagerinti veikliojo dumblo mikroorganizmų, šalinančių azoto ir fosforo junginius, funkcijas. Dėl šios priežasties nuotekų išvalymas pagal biogenines medžiagas tampa efektyvesnis (Ucisik ir Henze, 2008).

Pagamintų TGLRR kiekis priklauso nuo pasirinkto technologinio proceso ir technologinių parametrų. Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui ir TGLRR susidarymui didžiausią įtaką daro pH, dumblo išbuvimo trukmė ir temperatūra (Rabinowitz et al., 2011). Priklausomai nuo temperatūros ribų, kuriose veikia hidrolizės procesas, hidrolizę atlieka skirtingi mikroorganizmai.

Mokslininkai teigia, kad TGLRR susidaro esant 10–30 °C temperatūrai, tačiau tinkamiausios jos ribos yra 25–30 °C (Gupta, 1986).

Trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas vyrauja, kai pH vertės yra 6,5 ir mažesnės, tačiau hidrolizės procesas slopinamas, kai pH vertės yra mažesnės už 5,5 (Janssen, Meinema ir van der Roest, 2002). Nenustatyta, kad didesnės pH vertės (6,5–7,0) turėtų įtakos lakiųjų riebalų rūgščių susidarymui (Rabinowitz, et al., 2011).

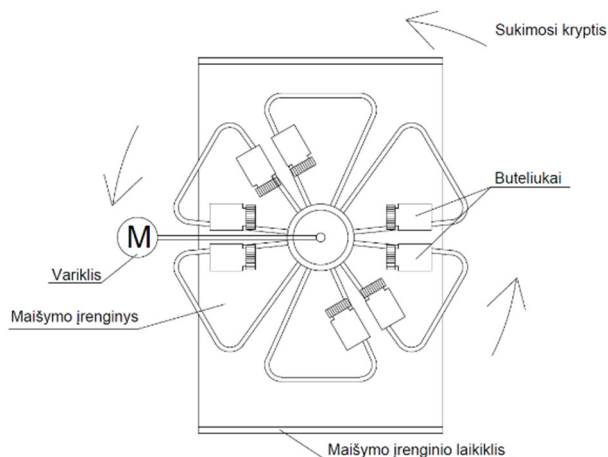
Dumblo amžius apibrėžia organizmų grupių, kurios gamina lakiąsias riebalų rūgštis, augimo trukmę sistemoje. Jei sistemoje nėra taikoma dumblo recirkuliacija, dumblo amžius yra lygus dumblo išbuvimo trukmei. Jei dumblo amžius yra per trumpas, nesusidarys užtektingai bakterijų, kurios pagamintų reikiamą lakiųjų riebalų rūgščių kiekį. Jei dumblo amžius yra per ilgas, pradeda didėti metaną gaminančių bakterijų, kurios sunaudoja dalį pagamintų lakiųjų riebalų rūgščių, kiekis. Kai temperatūra yra ≥ 16 °C, rekomenduojama dumblo amžiaus reikšmė yra nuo 3 parų iki 5 parų, o kai temperatūra yra žemesnė už 15 °C – nuo 4 parų iki 8 parų (Rabinowitz et al., 2011).

Šio tyrimo tikslas yra nustatyti optimalią pirminio dumblo hidrolizės proceso trukmę, kuriai esant hidrolizės procesas vyksta efektyviausiai.

Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimams naudotas Vitebsko miesto, esančio Baltarusijoje, (tyrimas Nr. 1) ir Vilniaus miesto (tyrimas Nr. 2) nuotekų valyklų pirminiuose nusodintuvuose susidaręs pirminis dumblas. Šios valyklos pasirinktos, nes nustatyta, kad valomose nuotekose yra organinių medžiagų trūkumas, neleidžiantis užtikrinti biogeninių medžiagų reikiamo pašalinimo iš nuotekų. Tyrimai atlikti VGTU Vandentvarkos laboratorijoje. Dumblas paimtas vadovaujantis Lietuvos standartu (LST EN ISO 5667-13, 2006). Vitebsko nuotekų valykloje dumblo paėmimo vieta buvo pirminio dumblo siurblinė, o Vilniaus nuotekų valykloje – dumblo apdorojimo techninis pastatas.

Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui nustatyti atliekamas „Batch“ testas, kurio metu atvežtas pirminis dumblas buvo išmaišytas ir išpilstytas į 8 stiklinius indus po 100 ml. Buteliukai buvo pritvirtinti prie judančio įrenginio, kuris užtikrina, kad dumblas viso tyrimo metu būtų skendinčioje būsenoje. Bandymo stendo principinė schema pateikta 1 paveiksle.



1 paveikslas. Bandymo stendo principinė schema

Pirmąją ir antrąją tyrimų dieną rodiklių analizė nebuvo atliekama, nes literatūroje nurodomos rekomenduojamos išbuvimo trukmės reikšmės efektyviam hidrolizės procesui vykti yra 3–8 paros (Rabinowitz et al., 2011).

Pradedant trečiąją dumblo išbuvimo dieną kiekviena dieną tuo pačiu laiku buvo nuimama po vieną stiklinį indą ir nustatomos tokių rodiklių reikšmės: cheminis deguonis suvartojimas dumblo vandenyje (ChDS_{filtr}), lakiosios riebalų rūgštys dumblo vandenyje (LRR), sausos medžiagos dumble (SM), bėpelenės sausos medžiagos dumble (BSM), dumblo pH ir temperatūra. Dumblo vanduo nuo dumblo atskirtas jį filtruojant pro filtrą „raudona juosta“. Siekiant apskaičiuoti pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumą, nustatytos ir minėtųjų rodiklių reikšmės prieš pradedant bandymą. Rodiklių reikšmių nustatymo metodikos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Rodiklių reikšmių nustatymo metodikos

| Rodiklis | Nustatymo metodika |
|-----------------------|---|
| pH, temperatūra | LST ISO 10523:2009. „Vandens kokybė. pH nustatymas“ |
| ChDS _{filtr} | LAND 83-2006. „Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas“ |
| SM, BSM | LST EN 15934:2012. „Dumblo apibūdinimas. Sausos masės nuostolių iškaitinant nustatymas“ |

LRR nustatymui taikyta tokia metodika: į dvi konusines kolbas pamatuojama po 10 ml dumblo vandens ir pridedama po 10 ml distiliuoto vandens. Į vieną kolbą pridedami 5 lašai maišyto indikatoriaus (lygiomis dalimis mėlynas metilenas ir oranžinis metilenas) ir titruojama

0,1 N druskos rūgštimi iki violetinės spalvos atsiradimo. Į antrąją kolbą pridedami 5 lašai raudono metileno ir titruojama 0,1 N druskos rūgštimi iki ryškiai oranžinės raudonos spalvos (SVP 2012).

LRR apskaičiuojamos pagal formulę:

$$LRR = (a - b) \cdot 1000 / V, \text{ mg-ekv/l}, \quad (1)$$

čia: a – 0,1 N druskos rūgšties kiekis sunaudotas titruojant su maišytu indikatoriumi; b – 0,1 N druskos rūgšties kiekis sunaudotas titruojant su raudonu metilu; V – dumblo vandens tūris, ml.

LRR ekvivalentas yra perskaičiuojamas į acto rūgštį pagal formulę:

$$LRR_{Hac} = LRR \cdot E_{Hac}, \text{ mg/l}, \quad (2)$$

čia: LRR_{Hac} – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, perskaičiuotas pagal acto rūgštį, mg/l; LRR – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, mg-ekv/l; E_{Hac} – acto rūgšties ekvivalentas, $E_{Hac} = 60,05$ ekv.

TGLRR yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$TGLRR = k \cdot LRR_{Hac}, \quad (3)$$

čia: $TGLRR$ – trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, mg/l; k – koeficientas, įvertinantis trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių sudėtį ir taikomas, kai nėra galimybės nustatyti trumpos sudėties dujų chromatografijos metodu, $k = 1,30$ (Ubay-Cokgor, Oktay, Zengin, Artan ir Orthon, 2005; WH Rossle ir Pretorius, 2001); LRR_{Hac} – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, perskaičiuotas pagal acto rūgštį, mg/l.

Pagal tyrimų rezultatus apskaičiuoti tokie parametrai, kaip $ChDS_{filtr}$, BDS_7 , TGLRR susidarymas ir BSM suskaidymas pagal formulę:

$$X_n = C_n - C_{n-1}, \text{ mg/l}, \quad (4)$$

čia: X_n – $ChDS_{filtr}$, BDS_7 , TGLRR susidaręs ar BSM suskaidytas kiekis atitinkamą pirminio dumblo išbuvimo dieną, mg/l; C_n – $ChDS_{filtr}$, BDS_7 , TGLRR, BSM koncentracija per skaičiuojamą pirminio dumblo išbuvimo dieną,

mg/l; C_{n-1} – $ChDS_{filtr}$, BDS_7 , TGLRR, BSM koncentracija dieną prieš skaičiuojamą pirminio dumblo išbuvimo dieną, mg/l.

Tyrimų rezultatai

Gauti tyrimų rezultatai pateikti 2 ir 3 lentelėse. Tyrimo Nr. 1 metu temperatūra kito tarp 20,0–21,6 °C, vidutinė reikšmė buvo 20,8 °C (2 lentelė). Tyrimo Nr. 2 metu temperatūra svyravo tarp 19,0–21,1 °C, vidutinė reikšmė buvo 20,4 °C.

2 lentelė. Temperatūros ir pH rodiklių analizės rezultatai

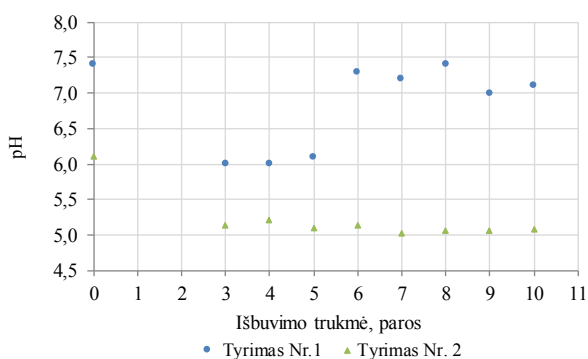
| Tyrimo Nr. | Rodiklis | Min. | Max. | Vid. |
|------------|-------------|------|------|------|
| 1 | Temperatūra | 20,0 | 21,6 | 20,8 |
| | pH | 6,0 | 7,4 | 6,79 |
| 2 | Temperatūra | 19,0 | 21,1 | 20,4 |
| | pH | 5,02 | 5,2 | 5,1 |

Pastaba: Min. – minimali reikšmė, Max. – didžiausia reikšmė, Vid. – vidutinė reikšmė.

Tyrimo Nr. 1 metu pH reikšmės kito tarp 6,0 ir 7,4 (2 lentelė). Rodiklio pH sumažėjimas stebėtas 3–5 paromis. Ji nuo pradinės reikšmės vidutiniškai sumažėjo 18,5 % ir buvo lygi 6,0 (2 paveikslas). Vėliau, 6–10 paromis, pH reikšmė vidutiniškai padidėjo iki 7,2 ir buvo tik 2,7 % mažesnė už pradinę pH reikšmę. Tyrimo Nr. 1 metu BSM koncentracija nuolat mažėjo nuo 27,76 g/l iki 24,01 g/l, bendras sumažėjimas sudarė 13,5 % nuo pradinės BSM koncentracijos (3 lentelė), tuo tarpu TGLRR susidarymas didėjo iki 6 parų dumblo išbuvimo trukmės (3 paveikslas). Rezultatų analizė rodo, kad 6–10 paromis prasidėjo TGLRR vartojimas, kurį, kaip teigiama literatūroje, vykdo metanogeninės bakterijos. Taigi, sprendžiant pagal pH kitimo tendenciją, pateiktą 2 paveiksle, TGLRR yra pagaminamos, bet nėra vartojamos mikroorganizmų esant 5–6 parų išbuvimo trukmei, kai vidutinė temperatūra yra 20,8 °C.

3 lentelė. Pirminio dumblo hidrolizės tyrimo Nr. 1 rezultatai (Vitebsko miesto nuotekų valykla)

| Parametras | Pirminio dumblo išbuvimo trukmė, paros | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $ChDS_{filtr}$, mgO ₂ /l | 1010 | 3095 | 3787 | 4780 | 5294 | 5918 | 5330 | 5960 | 5780 |
| SM koncentracija g/l | 36,20 | 35,70 | 35,5 | 35,20 | 34,60 | 34,30 | 33,50 | 32,6 | 31,4 |
| BSM, g/l | 27,76 | 27,34 | 27,21 | 26,97 | 26,49 | 26,28 | 25,64 | 24,95 | 24,01 |
| LRR, m-ekv/l | 7,00 | 17 | 24 | 29 | 35 | 35 | 37,5 | 37,5 | 35 |
| TGLRR, mg/l | 551 | 1317 | 1859 | 2246 | 2710 | 2710 | 2904 | 2904 | 2710 |

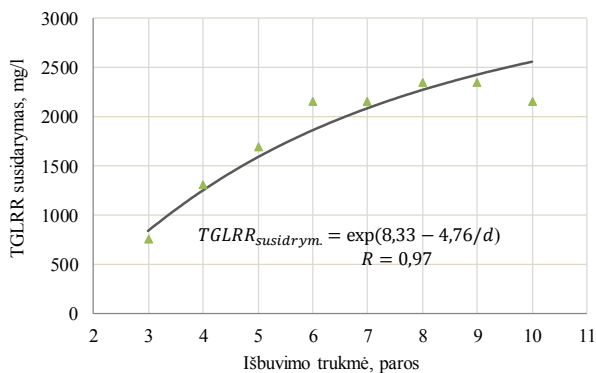


2 paveikslas. pH kitimo grafikas tyrimų metu

Toliau analizuotas TGLRR susidarymas atsižvelgiant į pirminio dumblo išbuvimo trukmę ir pH reikšmes. Šiam tikslui atlikta TGLRR priklausomybės nuo dumblo išbuvimo trukmės analizė, kuri parodė gerą koreliacijos ryšį ($R = 0,97$) tarp tirtų parametru (3 paveikslas). Tolesnei analizei TGLRR susidarymo reikšmės prognozuotos pagal nustatytą eksponentinę priklausomybę:

$$TGLRR_{susidarym.} = \exp(8,33 - 4,76 / d), \text{ mg/l}, \quad (5)$$

čia: $TGLRR_{susidarym.}$ – trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas; d – dumblo išbuvimo trukmė.



3 paveikslas. Susidariusio TGLRR kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1)

4 lentelė. Tyrimo Nr. 1 metu susidariusių TGLRR kiekiai

| Dumblo išbuvimo trukmė, d | pH, mg/l | Susidariusio TGLRR kiekis, mg/l | Susidariusio TGLRR kiekio procentinė dalis, % |
|-----------------------------|----------|---------------------------------|---|
| 4 | 6,0–6,0 | 412 | 23,9 |
| 5 | 6,0–6,1 | 338 | 19,6 |
| 6 | 6,1–7,3 | 274 | 15,9 |
| 7 | 7,3–7,2 | 224 | 13,0 |
| 8 | 7,2–7,4 | 186 | 10,8 |
| 9 | 7,4–7,0 | 156 | 9,1 |
| 10 | 7,0–7,1 | 132 | 7,7 |
| Iš viso | – | 1722 | 100,0 |

Pagal dumblo išbuvimo reikšmes sudaryti pH reikšmių intervalai (4 lentelė). Atitinkamai apskaičiuotos TGLRR susidarymo reikšmės taikant 5 formulę.

Nuo tyrimo Nr. 1 pradžios iki pabaigos bendra TGLRR susidarymo reikšmė buvo 1722 mg/l. Nustatant optimalią TGLRR susidarymo reikšmę imti tie pH intervalai, kurių metu TGLRR susidarymas buvo ne mažesnis nei 15 % susidariusio TGLRR kiekio, nes iš 2 paveikslo matyti, kad ilgiau kaip 5–6 paras išlaikant dumblą, vyksta ne tik TGLRR gamyba, bet ir jų suvartojimas. Pagal nurodytą atrankos kriterijų pH kito nuo 6,0 iki 7,3, pH reikšmių vidurkis buvo 6,25, tuo tarpu dumblo išbuvimo trukmė buvo nuo 3 parų iki 6 parų (4 lentelė). Kintant pH 6,0–7,3 ribose ir dumbliui išbuvus 6 paras, susidaręs TGLRR kiekis yra lygus 1024 mg/l. Tai sudaro 59,5 % nuo bendro tyrimo metu susidariusio TGLRR kiekio. Kai dumblo išbuvimo trukmė buvo nuo 6 parų iki 10 parų, pH reikšmių vidurkis buvo 7,18, susidaręs TGLRR kiekis mažėjo atitinkamai nuo 224 mg/l/d iki 132 mg/l/d. Galima teigti, kad pagal TGLRR susidarymą ir jo vartojimo pradžią optimali dumblo išbuvimo trukmė yra 6 paras.

Tyrimo Nr. 2 metu pH reikšmės kito nuo 5,02 iki 5,2, jos visomis tyrimo paromis buvo mažesnės už rekomenduojamą mažiausią 5,5 reikšmę, kai literatūroje nurodoma, kad hidrolizės procesas nėra slopinamas. Didžiausias pH sumažėjimas sudarė 17,7 % nuo pradinės reikšmės. Tyrimo Nr. 2 TGLRR koncentracijų ir susidariusių TGLRR kiekių reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė. Tyrimo Nr. 2 TGLRR rodiklių reikšmės

| Rodiklis | Min. | Max. | Vid. |
|---------------------|-------|-------|-------|
| TGLRR koncentracija | 393,3 | 550,6 | 457,2 |
| TGLRR susidarymas | 0 | 157 | 22 |

Pastaba: Min. – minimali reikšmė, Max. – didžiausia reikšmė, Vid. – vidutinė reikšmė

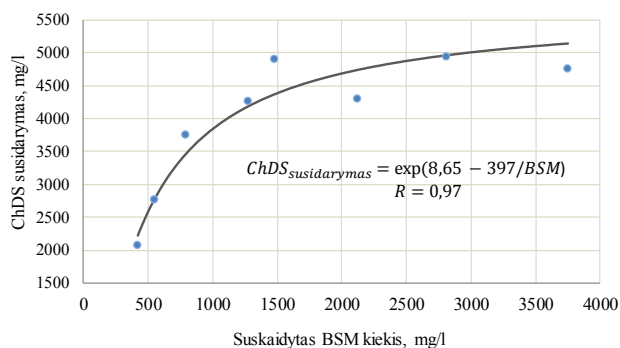
Iš 5 lentelės matyti, kad tyrimo Nr. 2 metu vidutinė TGLRR susidarymo reikšmė yra 22 mg/l, ši reikšmė yra 11,2 karto mažesnė už tyrimo Nr. 1 vidutinę TGLRR susidarymo reikšmę, kuri yra 246 mg/l. Tyrimo Nr. 2 pradinė pH reikšmė buvo 6,1, tuo tarpu nuotekų pH pirminiuose nusodintuvuose – 7,0. Tai rodo, kad hidrolizės procesas pradeda vykti iki mėginio paėmimo vietos. Galimos prielaidos: dumblo paėmimo vieta yra ne pirminio dumblo siurblynė, o kiek nuo jos nutolęs dumblo apdorojimo techninis pastatas, todėl neaiški dumblo išbuvimo trukmė iki dumblo tyrimui paėmimo, iš dumblo apdorojimo įrenginių su dumblo vandeniu patenkantys hidrolizės procesą galintys vykdyti mikroorganizmai paspartina hidrolizės procesą, pasirinktas pirminio dumblo šalinimo iš pirminių

nusodintuvų režimas sudaro sąlygas hidrolizės procesui vykti. Kadangi šios priežastys neanalizuotos, tyrimo Nr. 2 rezultatų analizė nebetęsta.

Siekiant nustatyti optimalias $ChDS_{filtr.}$ susidarymo reikšmes atlikta koreliacinė analizė tarp BSM suskaidymo ir $ChDS_{filtr.}$ susidarymo reikšmių ir nustatyta eksponentinė priklausomybė (4 paveikslas):

$$ChDS_{susidar.} = \exp(8,65 - 397 / BSM_{suskaidym.}), \text{ mg/l}, \quad (6)$$

čia: $ChDS_{susidar.}$ – susidaręs cheminio deguonies kiekis dumblo vandenyje, $\text{mg O}_2/\text{l}$; $BSM_{suskaidym.}$ – suskaidytas belpenių medžiagų kiekis, mg/l .



4 paveikslas. $ChDS_{filtr.}$ susidarymo ir BSM suskaidymo priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1)

Iš 4 paveikslo matyti, kad koreliacijos koeficientas yra artimas vienetui ($R = 0,97$), todėl yra stiprus ryšys tarp analizuojamų parametru. Vadinasi, pagal BSM suskaidytą kiekį galima prognozuoti $ChDS_{filtr.}$ susidarymo reikšmes taikant 6 formulę.

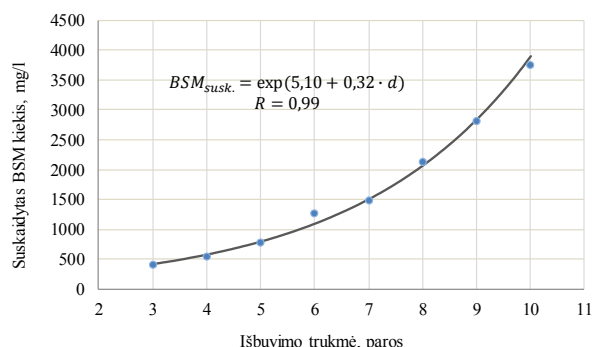
Pagal dumblo išbuvimo trukmės reikšmes sudaryti BSM suskaidymo reikšmių intervalai ir atitinkamai apskaičiuotos $ChDS_{filtr.}$ susidarymo reikšmės (6 lentelė).

6 lentelė. Tyrimo Nr. 1 metu susidariusių $ChDS_{filtr.}$ kiekiai

| Dumblo išbuvimo trukmė, d | BSM suskaidymo intervalai, mg/l | Susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekis, $\text{mg O}_2/\text{l}$ | Susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio procentinė dalis, % |
|-----------------------------|--|---|---|
| 4 | 420–550 | 546 | 18 |
| 5 | 550–790 | 710 | 23 |
| 6 | 790–1270 | 760 | 25 |
| 7 | 1270–1480 | 200 | 7 |
| 8 | 1480–2120 | 390 | 13 |
| 9 | 2120–2810 | 237 | 8 |
| 10 | 2810–3750 | 190 | 6 |
| Iš viso | | 3033 | 100 |

Nuo tyrimo Nr. 1 pradžios iki pabaigos bendra $ChDS_{filtr.}$ suskaidymo reikšmė buvo 3034 mg/l . Nustatant optimalią $ChDS_{filtr.}$ susidarymo reikšmę imti tie BSM suskaidymo intervalai, kurių metu $ChDS_{filtr.}$ susidarymas buvo ne mažesnis nei 15 % nuo bendro susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio. Taikytas tas pats procentas, kaip ir analizuojant TGLRR. Pagal nurodytą atrankos kriterijų BSM susidarymas kito nuo 420 mg/l iki 1270 mg/l , BSM susidarymo reikšmių vidurkis buvo 387 mg/l . Kintant BSM nuo 420 mg/l iki 1270 mg/l , susidaręs $ChDS_{filtr.}$ kiekis yra lygus $2016 \text{ mg O}_2/\text{l}$, o tai sudaro 66,5 % nuo bendro tyrimo metu susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio. Susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio minimali reikšmė buvo $190 \text{ mg O}_2/\text{l}$ – tai sudaro 6,27 % nuo bendro susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio, tuo metu suskaidyto BSM reikšmės buvo tarp $2810\text{--}3750 \text{ mg/l}$. Susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio maksimali reikšmė buvo 760 mg/l , o tai sudaro 25,06 % nuo bendro susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio, kai suskaidyto BSM reikšmės buvo tarp $790\text{--}1270 \text{ mg/l}$ (6 lentelė).

Suskaidyto BSM kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas pateiktas 5 paveiksle. Koreliacijos koeficientas ($R = 0,99$) yra artimas vienetui, todėl pagal dumblo išbuvimo trukmę galima prognozuoti BSM suskaidytą kiekį.



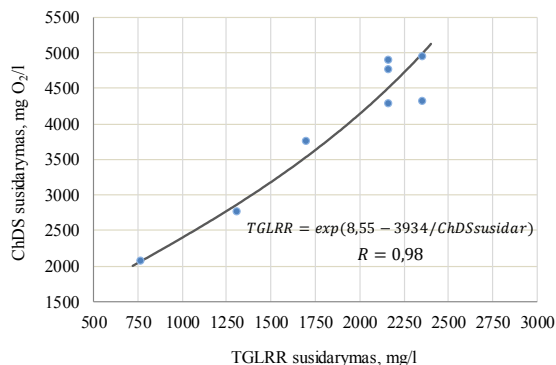
5 paveikslas. Suskaidyto BSM kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1)

Rezultatų analizė rodo, kad, kaip ir TGLRR analizės atveju, 6–10 paromis prasidėjo $ChDS_{filtr.}$ vartojimas, kurį, kaip teigiama literatūroje, vykdo metanogeninės bakterijos. Galima teigti, kad pagal $ChDS_{filtr.}$ susidarymą ir jo vartojimo pradžią optimali dumblo išbuvimo trukmė taip pat yra 6 paros (6 lentelė, 5 paveikslas).

Siekiant nustatyti susidariusio $ChDS_{filtr.}$ kiekio ir susidariusio TGLRR kiekio priklausomybę, atlikta koreliacinė analizė tarp parametru ir nustatyta eksponentinė priklausomybė (6 paveikslas):

$$TGLRR = \exp(8,55 - 3934 / ChDS_{susidarym.}), \text{ mg/l}, \quad (7)$$

čia: $TGLRR$ – Trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas; $ChDS_{susidar}$ – susidaręs cheminio deguonies kiekis, $mg\ O_2/l$.



6 paveikslas. $ChDS_{filtr}$ ir $TGLRR$ susidarymo priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1)

Koreliacijos koeficientas yra artimas vienetui ($R = 0,98$), todėl yra stiprus ryšys tarp susidariusio $ChDS_{filtr}$ ir $TGLRR$ kiekio. Vadinas, pagal susidariusį $ChDS_{filtr}$ kiekį galima prognozuoti susidariusių $TGLRR$ kiekį taikant 7 formulę.

Išvados

1. Esant vidutinei $20,8\ ^\circ C$ temperatūrai, pradinei pH reikšmei 7,4 ir 76,7 % BSM kiekiui SM atžvilgiu, nustatyta optimali dumblo išbuvimo trukmė hidrolizės procesui vykti yra 6 paros. Nurodytomis sąlygomis vyksta tiek $TGLRR$, tiek $ChDS_{filtr}$ susidarymas, tačiau dėl metanogeninių bakterijų veiklos nevyksta jų vartojimas.

2. Esant 6 parų išbuvimo trukmei, $TGLRR$ susidarymo efektyvumas bendro tyrimo metu susidariusio $TGLRR$ kiekio atžvilgiu yra 59,5 %, o $ChDS_{filtr}$ susidarymo efektyvumas – 66,5 %.

3. Pirminio dumblo hidrolizės proceso metu BSM koncentracija, kai dumblo išbuvimo trukmė buvo 6 paros, sumažėjo 4,6 %, viso tyrimo metu BSM koncentracija sumažėjo 13,5 %. Taigi, pirmoje išvadoje nurodytomis sąlygomis pakanka suskaidyti 5 % BSM, kad būtų pasiektas optimalus $TGLRR$ ir $ChDS_{filtr}$ susidarymo efektyvumas.

4. Nustatytas stiprus koreliacinis ryšys ($R = 0,98$) tarp susidariusio $ChDS_{filtr}$ kiekio ir susidariusio $TGLRR$ kiekio. $TGLRR$ parametą galima prognozuoti taikant formulę: $TGLRR = \exp(8,55 - 3934 / ChDS_{susidarym})$.

Literatūra

- Ali, I. & Gupta, V. K. (2013). Wastewater treatment by biological methods. In *Environmental Water. Advances in Treatment, Remediation and Recycling* (Chapter 7, pp. 179-204). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59399-3.00007-6>.
- Gupta, A. K. (1986). *The effects of temperature, pH and retention time on volatile fatty acid production from primary sludge*. University of British Columbia, p. 1-90.
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment: principles, design and modelling*. IWA, London.
- Houweling, D., Dold, P. L., & Barnard, J. (2010). Theoretic limits to biological removal-rethinking the influent COD:N:P ratio. In *Proc., 83rd Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conf.*, Water Environment Federation, Alexandria, VA. <https://doi.org/10.2175/193864710798207107>
- Janssen, P. M. J., Meinema, K., & van der Roest, H. F. (2002). *Biological phosphorus removal: Manual for design and operation*. IWA Publishing.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2007). *Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDSn) nustatymas* (LAND 47-1:2007). I dalis.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2006). *Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas* (LAND 83-2006). *Valstybės Žinios*, 2006.12.16, Nr. 137.
- LST EN ISO 5667-13. (2006). *Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 13 dalis. Nurodymai kaip imti dumblo mėginius* (ISO 5667-1:2006“).
- Mulkerrins, D., Dobson, A. D. W., & Colleran, E. (2004). Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters. *Environment International*, 30(2), 249-259. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00177-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00177-6)
- Rabinowitz, B., Neethling, J., Barnard, J., Bauer, R., Abraham, K., & Erdal, Z. (2011). *Fermenters for biological phosphorus removal carbon augmentation*. Technical Report of the Water Environment Research Foundation. Arlington.
- Rossle, W. H., & Pretorius, W. A. (2001). A review of characterisation requirements for in-line prefermenters. *Wastewater characterisation. Water SA*, 27(3), 405-411.
- Standartinė veiklos procedūra*. (2012). Lakiųjų organinių rūgščių ir šarmingumo nustatymas. UAB „Kauno vandenys“.
- Ubay-Cokgor, E., Oktay, S., Zengin, G. E., Artan, N., & Orthon, D. (2005). Effect of primary sludge fermentation products on mass balance for biological treatment. *Water Science and Technology*, 5(11), 106-114. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0396>
- Ucisik, A. S., & Henze, M. (2008). Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: the effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids. *Water Research*, 42(14), 3729-3738. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.010>
- Vandens kokybė. pH nustatymas* (LST ISO 10523:2009).

INVESTIGATION OF PRODUCTION OF READILY BIODEGRADABLE ORGANIC MATTER DURING PRIMARY SLUDGE HYDROLYSIS

E. Šiaulenskis, R. Dauknys

Summary

In order to prevent eutrophication, strict effluent requirements for nutrients are applied. The lack of readily biodegradable organic matter usually contributes to non-efficient removal of nutrients from wastewater. Hydrolysis of primary sludge is one of the methods to produce readily biodegradable organic matter and ensure more efficient nutrient removal and low-cost maintenance of wastewater treatment. Primary sludge from primary settlers of Vitebsk WWTP, Belarus (Investigation No. 1) and Vilnius WWTP, Lithuania (Investigation No. 2) was used for primary sludge hydrolysis investigation. Primary sludge hydrolysis was performed to determine the retention time, formation of SCOD, SCVFA and reduction of VSS. The results of investigations were obtained at the average temperature of 20.8 °C with the initial pH value of 7.4 and the initial VSS of 76.7% as DS. The recommended retention time for primary sludge hydrolysis was estimated to be 6 days. Under the abovementioned conditions the efficiency of SCOD formation stood at 66.5%, the efficiency of SCVFA formation – 59.47%. This result was achieved with a 4.6% VSS reduction.

Keywords: primary sludge, volatile fatty acids, phosphorus removal, “Batch test”, Soluble Chemical Oxygen demand.