

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Svetlana OFVERSTROM

**GELEŽIES POVEIKIO
DUMBLO PŪDYMO PROCESUI
TYRIMAI IR VERTINIMAS**

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
APLINKOS INŽINERIJA (04T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNICA 2013

Disertacija rengta 2008–2013 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Mokslinis vadovas

doc. dr. Regimantas DAUKNYS (Vilnius Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas

prof. dr. Saulius VASAREVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija– 04T).

Nariai:

doc. dr. Edita BALTRĖNAITĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T),

prof. dr. Jadvyga Regina KERIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – 08T),

doc. dr. Violeta MAKAREVIČIENĖ (Aleksandro Stulginskio universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T),

prof. dr. Britt-Marie WILEN (Chalmers technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T).

Oponentai:

dr. Jurgita MALAIŠKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – 08T),

dr. Viktoras RAČYS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – 04T).

Disertacija bus ginama viešame Aplinkos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2014 m. sausio 30 d. 10 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;

el. paštas doktor@vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2013 m. gruodžio 27 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos „Technika“ 2208-M mokslo literatūros knyga.

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Svetlana OFVERSTROM

RESEARCH AND EVALUATION OF
IRON IMPACT ON SLUDGE
DIGESTION PROCESS

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNICA 2013

Doctoral dissertation has been prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2008–2013.

Scientific Supervisor

Assoc Prof Dr Regimantas DAUKNYS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Environmental Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Saulius VASAREVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Members:

Assoc Prof Dr Edita BALTRĖNAITĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Sciences – 04T),

Prof Dr Jadvyga Regina KERIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Materials Engineering – 08T),

Assoc Prof Dr Violeta MAKAREVIČIENĖ (Aleksandras Stulginskis University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T),

Prof Dr Britt-Marie WILEN (Chalmers University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Opponents:

Dr Jurgita MALAIŠKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Materials Engineering – 08T),

Dr Viktoras RAČYS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Environmental Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 10 a. m. on 30 January 2014.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;

e-mail: doktor@vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 27 December 2013.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio av. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Įvadas

Problemos aktualumas

Vandens telkinių eutrofikacijai sumažinti Europos Sąjungoje ir visame pasaulyje nustatyti griežti reikalavimai nuotekoms valyti, ypač azotui ir fosforui šalinti. Fosforas iš nuotekų šalinamas biologiniu ir (ar) cheminiu būdu. Dėl fosforo šalinimo susidaro didesni, nei įprastai, dumblo kiekiai. Dumblo apdorojimo kaina sudaro apie 50 % visų nuotekų valymo įrenginių eksploatavimo sąnaudų. Plačiausiai taikomas dumblo apdorojimo būdas yra anaerobinis pūdyimas, kuriuo metu susidarančios biodujos naudojamos nuotekų valymo įrenginių vietinėms kuro reikmėms tenkinti. Kai anaerobinis dumblo pūdyimas taikomas nuotekų valyklose su biologiniu fosforo šalinimu, atsiranda problemos: padidėjusios sieros vandenilio (H_2S) koncentracijos (>500 ppm) biodujose ir fosfatų išsiskyrimas į pūdyto dumblo vandenį. Sieros vandenilis – tai toksinės dujos, kurios yra nuodingos aptarnaujančiam personalui ir gadina įrangą. Nuotekų valymo įrenginiuose susidarančiam sieros vandenilio kiekiui mažinti plačiai naudojamos geležies druskos – sulfatai ir chloridai.

Anaerobinėse sąlygose vyksta fosfatų išsiskyrimas iš mikroorganizmų ląstelių, todėl pūdyto dumblo vandenyje, kuris yra grąžinamas į nuotekų valymo proceso pradžią, gali būti iki $600\text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/l}$ fosfatų koncentracijos. Tai gali sutrikdyti biologinio fosforo šalinimo procesą. Siekiant išvengti neigiamos pūdyto dumblo vandens įtakos valymo procesui, reikia numatyti fosforo šalinimą iš jo.

Lietuvoje ir kitose šalyse, kur požeminis vanduo naudojamas geriamajam vandeniui ruošti, vandens šaltiniuose yra padidintos geležies koncentracijos. Geležis iš požeminio vandens, prieš jį tiekiant vartotojams, šalinama iki normatyvinės koncentracijos geriamajame vandenyje. Geležies šalinimui naudojant aktyviuosius smėlio filtrus, susidaro paplavos (Fe_2O_3), kuriose gausu geležies. Paprastai jos yra išleidžiamos į nuotakyną arba išvežamos į sąvartynus kaip atlieka.

Pastaruoju metu Lietuvoje ir kitose šalyse ypatingas dėmesys skiriamas atliekų panaudojimui ir vietinių atsinaujinančių energijos šaltinių paieškai, todėl yra tikslinga ištirti geležies paplavų panaudojimą biologinio valymo įrenginiuose siekiant pagerinti dumblo mišinio pūdyimo procesą ir išvengti nuotekų valymo proceso apkrovimo fosforu iš dumblo apdorojimo ūkio.

Tyrimų objektas – dumblo mišinio pūdyimas, į jį įterpiant tradicinį arba alternatyvų geležies šaltinį.

Darbo tikslas ir uždaviniai. Darbo tikslas – ištirti geležies paplavų, kaip alternatyvaus geležies šaltinio, panaudojimo galimybes ir nustatyti faktorius, turinčius įtakos pūdymo proceso kokybei: metano ir sieros vandenilio susidarymui, fosfatų išsiskyrimui iš mikroorganizmų į dumblo vandenį dumblo pūdymo metu. Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Surinkti, apžvelgti ir išanalizuoti esamų dumblo pūdymo įrenginių darbo parametrus. Palyginti dumblo pūdymo proceso kokybę ir identifikuoti problemas, susijusias su geležies ir aliuminio druskų naudojimu. Ištirti pūdyto dumblo mišinio mėginius, paimtus iš nuotekų valymo įrenginių su skirtingu fosforo šalinimo metodu: biologiniu ir (ar) cheminiu.
2. Laboratorinių tyrimų metu nustatyti priklausomybes tarp geležies druskos koncentracijų ir pūdymo proceso kokybės, kuri bus vertinama pagal susidariusį biodujų kiekį ir fosfatų išsiskyrimą į pūdyto dumblo vandenį.
3. Atlikti laboratorinius pūdymo tyrimus į pūdomą dumblo mišinį įterpiant skirtingas geležies paplavų dozes, nustatyti geležies paplavų įtaką metano susidarymui ir fosfatų išsiskyrimui į pūdomo dumblo vandenį.
4. Atlikti tyrimus pusiau gamybinėmis sąlygomis, įterpiant į pūdomo dumblo mišinį skirtingas geležies paplavų dozes, nustatyti geležies paplavų įtaką metano susidarymui, sieros vandenilio prevencijai ir fosfatų išsiskyrimui į pūdomo dumblo vandenį.
5. Pasiūlyti geležies paplavų panaudojimo dumblo apdorojimo ūkyje technologinę schemą, skirtą nuotekų valymo įrenginiams su biologiniu fosforo šalinimu.

Tyrimų metodika. Tyrimai buvo atlikti dviejose Europos Sąjungos šalyse: Lietuvoje ir Švedijoje. Tyrimams dumblo mišinys imtas iš biologinio fosforo šalinimo įrenginių, esančių Lietuvoje ir Švedijoje; geležies paplavos – iš Lietuvos ir Danijos požeminio vandens gerinimo įrenginių. Tyrimai atlikti naudojant laboratorinius ir pusiau gamybinius pūdytuvus. Darbe panaudotos standartinės ir specifinės pūdymo proceso kokybės nustatymo metodikos.

Darbo mokslinis naujumas. Buvo atliktas kompleksinis geležies paplavų taikymo dumblo mišinio pūdymo procese galimybių įvertinimas. Pasiūlyta technologinė geležies paplavų panaudojimo dumblo apdorojimo ūkyje schema, skirta nuotekų valymo įrenginiams su biologiniu fosforo šalinimu.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė. Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad geležies paplavos gali būti naudojamos dumblo apdorojimo ūkyje, įrengtame nuotekų valykloje su biologiniu fosforo šalinimu, siekiant pagerinti pūdymo proceso kokybę. Pasiūlytų geležies paplavų dozių įterpimas į pūdymui tiekiamą dumblą

leidžia sumažinti sieros vandenilio kiekį biodujose ir pašalinti dalį fosfatų iš pūdyto dumblo vandens, nesumažinant išsiskiriančių biodujų kiekio ir kokybės.

Ginamieji teiginiai

1. Nuotekų valykloje, kurioje vykdomas biologinis fosforo šalinimo iš nuotekų procesas, geležies paplavų įterpimas į dumblo mišinį prieš jo pūdyimą sumažina fosfatų išsiskyrimą į dumblo vandenį ir neleidžia formuotis sieros vandeniliui biodujose.
2. Siekiant išvengti dumblo pūdyimo proceso sutrikimo, tolygiai įterpiamų geležies paplavų dozė į dumblo mišinį prieš jo pūdyimą turi būti ne didesnė nei 38 mg SM geležies paplavų/g SM pūdomo dumblo tiekiamo dumblo mišinyje.
3. Geležies paplavų naudojimas pūdyimo proceso metu vietoje tradicinių reagentų mažina atliekų susidarymą bei skatina antrinę žaliavų panaudojimą.

Disertacijos struktūra. Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, rezultatų apibendrinimas, bendrosios išvados ir rekomendacijos.

Darbo apimtis: 96 puslapiai, panaudota 23 numeruotos formulės, 23 paveikslai ir 32 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudoti 150 literatūros šaltiniai.

1. Nuotekų dumblo pūdyimo proceso tyrimų apžvalga

Dumblo susidarymas yra neišvengiama nuotekų valymo proceso dalis. Dumblo charakteristikos ir jo kiekis priklauso nuo į valyklą atitekančių nuotekų sudėties ir taikomos nuotekų valymo technologinės schemos. Dumblas susidaro pirminio ir biologinio valymo grandyse – atitinkamai pirminis ir perteklinis veiklusis dumblas. Pirminio dumblo kiekis perteklinio dumblo atžvilgiu gali būti nuo 10 iki 70 %, tai priklauso nuo nuotekų valymo proceso. Dumblo ūkiui tenka apie 50 % visų valykloje susidaranciu kaštų.

Dažniausiai yra naudojamas anaerobinis dumblo pūdyimas, kuris yra ekonomiškai ir aplinką tausojantis dumblo apdorojimo metodas. Anaerobinio pūdyimo proceso efektyvumas nustatomas pagal proceso galutinių produktų (biodujų, pūdyto dumblo ir pūdyto dumblo vandens) kokybę. Pūdyimo metu dalis dumblo esančių organinių medžiagų suskaidoma dėl mikroorganizmų veiklos ir gaminamos biodujos, kurių pagrindinę dalį (nuo iki 55 iki 70 %) sudaro metanas (CH₄). Biodujos gali būti naudojamos nuotekų valyklos energijos reikmėms patenkinti. Biodujų kiekis ir kokybė priklauso nuo organinių medžiagų tiekiamajame dumblo, todėl pirminis dumblas sumaišomas

su pertekliniu. Pūdymo metu iš perteklinio dumblo dėl vykstančios hidrolizės iš mikroorganizmų ląstelių į dumblo vandenį patenka fosfatai ($\text{PO}_4\text{-P}$), kurie kartu su dumblo vandeniu grąžinami į nuotekų valyklos pradžią.

Nuotekose esantys sulfatai kartu su dumblu patenka į pūdytuvus, kur sieros junginius redukuojančios bakterijos juos paverčia sieros vandeniliu. Dėl toksinio poveikio žmogaus organizmui ir įrangos gedimų prevencijos, sieros vandenilį reikia pašalinti iš biodujų. Šiuo tikslu dumblo apdorojimo procese plačiai naudojamos geležies druskos.

Mokslininkai tyrė, kaip nuotekų valymo įrenginiuose naudojamos aliuminio ir geležies druskos gali įtakoti dumblo pūdymo procesą. Nustatyta, kad metanogeninės bakterijos turi geležies poreikį, bet, jeigu geležies yra perdaug, ji veikia toksiškai ir slopina bakterijų veiklą. Cheminio fosforo šalinimo metu naudojamos aliuminio sulfato druskos gali sukelti sieros vandenilio susidarymą biodujose. Naudojant geležies druskas Fe^{2+} pavidalu, gali atsirasti apnašų susidarymo pavojus (vivianitas). Geležies chloridas yra plačiai naudojama druska, kuri sumažina sieros vandenilio biodujose susidarymą ir struvito susidarymą, bet anaerobinėmis sąlygomis silpnai šalina fosfatą. Geležies druskų įtaka dumblo mišinio pūdymo procesui nepakankamai ištirta.

Pastaruojamu metu Lietuvoje ir kitose šalyse dėl padidėjusių susidarantių paplavų iš vandens ruošimo įrenginių kiekių atliekami jų panaudojimo įvairiose srityse tyrimai. Atlikti geležies paplavų pritaikymo vandens ruošimo ir nuotekų valymo procesuose bei statybinių medžiagų gamyboje tyrimai Lietuvoje, Rusijoje, Danijoje ir kitose šalyse. Geležies paplavų cheminės sudėties tyrimai parodė, kad jose yra pakankamai geležies Fe^{3+} formoje (apie 26–40 % nuo sausos medžiagos (SM_{GP})). Geležies paplavų praktinis pritaikymas dumblo mišinio pūdymo procesui pagerinti nėra analizuotas. Tikslinga atlikti kompleksinius geležies paplavų įtakos pūdymo procesui tyrimus, siekiant įvertinti galimybes jų pritaikymui dumblo apdorojimo ūkyje, įrengtame nuotekų valymo įrenginiuose su biologiniu fosforo šalinimu.

2. Geležies druskų ir geležies paplavų įtakos dumblo mišinio pūdymo procesui tyrimų metodika

Šiame skyriuje aprašytos atliktų tyrimų metodikos ir eiga. Tyrimai atlikti 2009–2012 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete (Lietuva) ir Lundo Univesitete (Švedija). Bendra tyrimų trukmė – apie 20 mėnesių.

2009 metais, siekiant palyginti literatūroje pateiktus laboratorinių tyrimų rezultatus su praktikoje gaunamais rezultatais, atlikti natūriniai tyrimai, kurių metu surinkti 2008 metų dumblo pūdytuvų darbo parametrų duomenys iš

nuotekų valyklų Lietuvoje ir Švedijoje, paimti pūdyto dumblo mišinio mėginiai iš dviejų valyklų, kuriose fosforas iš nuotekų šalintas dviem skirtingais būdais – biologiniu ir cheminiu.

Geležies druskų poveikio dumblo mišinio pūdyto procesui laboratoriniai tyrimai atlikti pasitelkiant Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Vandentvarkos ir chemijos laboratorijoje esančius laboratorinius pūdyto įrenginius (pūdytuvo tūris – 4,8 l). Tyrimams parinkta plačiausiai naudojama druska – geležies chloridas (FeCl_3). Dumblas tyrimams vežtas iš valyklų, kuriose fosforas šalinamas biologiniu būdu: Vilniaus ir Utenos valyklos (Lietuva).

Dveji laboratoriniai geležies paplavų panaudojimo dumblo mišinio pūdyto procesui pagerinti tyrimai atlikti Švedijoje. Naudota Lundo Universitete Chemijos fakulteto laboratorijoje esanti įranga – 2 l talpos reaktoriai, skirti serijiniams (Batch) pūdyto testams atlikti. Tyrimams atlikti naudota metodika, kuri plačiai taikoma pūdyto proceso kokybei nustatyti. Pagal ją į reaktorius įpilama pūdyto dumblo įkrova ir dumblo mišinys, kuriuo bepelelių sausų medžiagų (BSM) kiekis sudarė apie 45 % nuo bendro BSM kiekio. Substratas į reaktorius buvo įdėtas tyrimo pradžioje ir užpildas azoto dujomis (N_2), kad būtų užtikrintos anaerobinės sąlygos. Reaktoriai apie 1 mėnesį laikyti šildymo kameroje (35°C). Tyrimų metu susidaranti metano dujų kiekiai buvo matuojami, naudojant dujų chromatografą Varian 3800.

Dumblas tyrimams imtas iš Oresundsverket nuotekų valyklos, kuriose fosforas iš nuotekų šalinamas biologiniu būdu (Helsingborg, Švedija) ir dviejų rūšių geležies paplavos: išspaudos (40 % SM) iš Antavilių vandens ruošimo įrenginių (Vilnius, Lietuva) ir nuosėdos (18,6 % SM), paimtos iš sandėliavimo aikštelės (apie 1 metų senumo), iš Marbjerg vandens ruošimo įrenginių (Kopenhaga, Danija).

Pirmojo laboratorinio tyrimo (Batch I) metu naudotos geležies paplavų nuosėdos. Reaktorių serijos (po 3 vnt.) buvo su 5 skirtingomis geležies paplavų koncentracijomis: 0,2; 0,4; 0,8; 1,5 ir 7,5 gFe^{3+}/l ir vienas kontrolinis reaktorius (0 gFe^{3+}/l). Tyrimuose naudota pūdyto dumblo įkrova, paimta iš Oresundverket valyklos pūdytuvų, prieš kuriuos įterpiamas geležies chloridas, skirtas sieros vandenilio susidarymui slopinti.

Antras laboratorinis tyrimas (Batch II) atliktas naudojant Antavilių stoties geležies paplavų išspaudos (40 % SM). Pūdyto dumblo įkrova paimta iš pusiau-gamybinio eksperimento reaktorių, nes juose nebuvo naudojama geležies. Tyrimams parinktos dvi geležies paplavų koncentracijos 0,5 ir 1,0 $\text{g Fe}^{3+}/\text{l}$ arba 1 Fe: 1 P_{is} ir 2 Fe: 2 P_{is} (moline išraiška), kur P_{is} – tai kontrolinio pūdyto metu išsiskiriančių į dumblo vandenį fosfatų koncentracija.

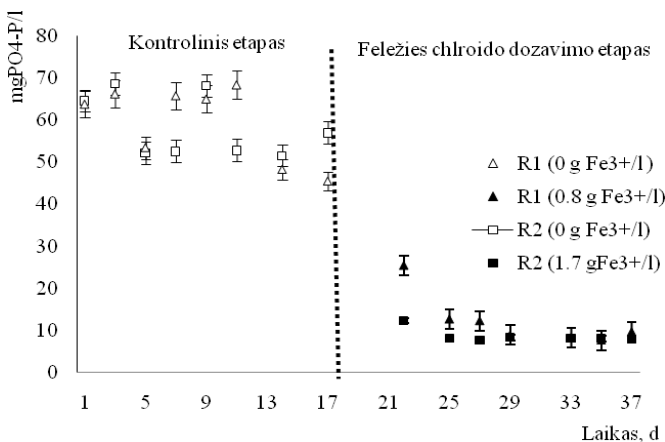
Pusiau gamybiniai tyrimai atlikti siekiant nustatyti geležies paplavų panaudojimo galimybę sieros vandenilio (H_2S) koncentracijai biodujose sumažinti, taip pat fosfatų išsiskyrimui į pūdyto dumblo vandenį sumažinti. Tyrimas atliktas naudojant tris pusiau gamybinius pūdytuvus (kiekvienas 20 l darbinio tūrio), esančius Sjolunda nuotekų valykloje (Malmo, Švedijoje). Tyrimai atlikti 2012 m. vasario – birželio mėn. (4 mėn.), jų metu naudotos Antavilių VGĮ geležies paplavų išspaudos. Apie mėnesį truko gamybinių pūdytuvų paleidimo-derinimo darbai. Tyrimas pradėtas po to, kai pūdyimo procesas pūdytuvuose tapo stabilus. Į dumblo mišinį palaipsniui dozuotas natrio sulfatas, jo dozė didinta nuo 2 iki 8 g Na_2SO_4/d (siekiant išprovokuoti sieros vandenilio gaminimąsi). Kai sieros vandenilio koncentracija viršijo 2000 ppm (milijoninės dalys), prasidėjo geležies paplavų įterpimo į dumblą prieš pūdyimą eksperimentas, siekiant nustatyti geležies paplavų galimybes vandenilio sulfido išsiskyrimui sumažinti biodujose. Pūdyimo proceso kokybei palyginti, geležies paplavos dozautos į du reaktorius trečią paliekant kontrolei. Dumblas į reaktorius tiekias su skirtingomis geležies paplavų koncentracijomis: 4,4 g Fe^{3+}/l ir 2,2 g Fe^{3+}/l . Geležies paplavų įterpimas į tiekiamą pūdyti dumblą truko 3 dienas. Po mėnesio, kai fosfatų koncentracija pūdyto dumblo vandenyje pasiekė 400 mg $PO_4^{3-}P/l$ (vienodai visose trijose pūdytuvuose), buvo atliktas eksperimentas su tolygiu geležies paplavų įterpimu į pūdytą dumblą, siekiant nustatyti geležies paplavų gebą sumažinti išskiriamų fosfatų koncentraciją. Vienas iš reaktorių buvo paliktas kontrolei, o į kitus tiekias pūdomas dumblas su įterptomis geležies paplavomis – 1,1 g Fe^{3+}/l ir 0,56 g Fe^{3+}/l arba 1,5 Fe:1 P_{is} ir 0,75 Fe^{3+} :1 P_{is} moline išraiška. Geležies paplavų dozės atitinkamai buvo 0,25 g SM_{GP}/gSM_{pad} ir 0,12 g SM_{GP}/gSM_{pad} , čia SM_{GP} – sausos medžiagos koncentracija geležies paplavuose; SM_{pad} – tai sausos medžiagos koncentracija tiekiamajame dumble.

Visų laboratorinių ir pusiau gamybinių tyrimų metu stebėta pūdyimo proceso kokybė: matuotas susidarančių biodujų kiekis ir kokybė, tirti tiekiamo bei pūdomo dumblo skendinčių medžiagų ir bepelenių sausų medžiagų kiekiai, fosfatų fosforo, geležies, kalcio ir magnio koncentracijos dumblo vandenyje.

3. Geležies druskų ir geležies paplavų įtakos pūdyimo procesui tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Natūrinių tyrimų metu nustatyta, kad dumblo apdorojimo ūkyje, įrengtame nuotekų valykloje su biologiniu fosforo šalinimu, sieros vandenilio susidarymo prevencijai naudojamos geležies druskos: geležies chloridas ir geležies sulfatas. Naudojant geležies sulfato druską susidaro struvito apnašos.

Laboratoriniai geležies chlorido įtakos pūdymo procesui tyrimai parodė, kad dumblo mišinio su įterptu geležies chloridu, kurio koncentracija yra 1,7 gFe³⁺/l ir 0,8 gFe³⁺/l, pūdymas neigiamai veikia proceso pusiausvyrą: pH reikšmė reaktoriuose buvo 6,58 ir 6,34 reaktoriuose su 0,8 gFe³⁺/l ir 1,7 gFe³⁺/l atitinkamai, kas yra žemiau optimalios 6,6–7,0. Dėl mažos pH reikšmės metanogeninių bakterijų veikla buvo nuslopinta, todėl sumažėjo biodujų susidarymas. Kontrolinio etapo metu, kai į reaktorius tiekias dumblas be geležies druskos, vidutinis specifinis biodujų susidarymas buvo apie 0,30 m³/kgBSM_{pad}, o pradėjus tiekti dumblą su įterptu geležies chloridu (0,8 gFe³⁺/l ir 1,7 gFe³⁺/l), biodujų susidarymas nukrito atitinkamai iki 0,18 m³/kgBSM_{pad} ir 0,11 m³/kgBSM_{pad}. Tai patvirtina ir kitų mokslininkų gauti rezultatai, kai biodujų susidarymas, tiekiant dumblą su įterptomis geležies druskomis buvo sumažėjęs. Po 3 dienų biodujų susidarymas pradėjo didėti, tačiau išliko apie 21 % ir 45 % mažesnis už kontrolinio etapo metu išsiskiriančių biodujų kieki.



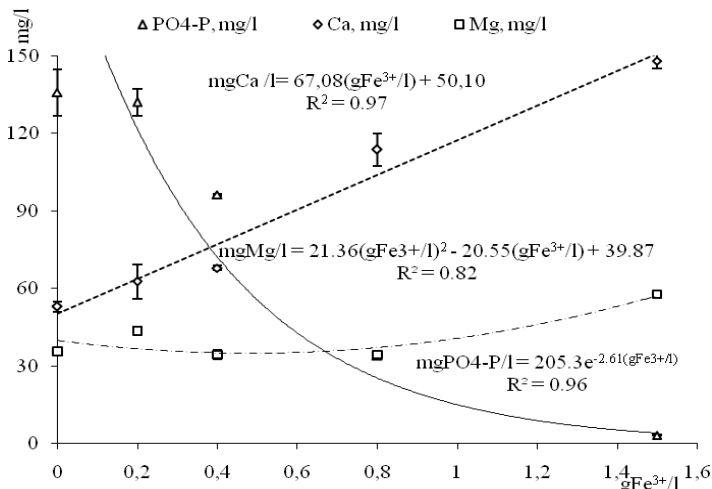
1 pav. Fosfatų koncentracija kontrolinio ir geležies druskų dozavimo metu

Geležies chlorido dozavimas į tiekiamą dumblą parodė staigų fosfatų išsiskyrimo į pūdyto dumblo vandenį sumažėjimą (1 pav.). Fosfatų pašalinimo iš dumblo vandens efektyvumas buvo vienodas (apie 80%) prie abiejų geležies chlorido koncentracijų (1,7 ir 0,8 gFe³⁺/l) tiekiamajame dumblyje.

Atlikus laboratorinį eksperimentą su dviem skirtingų druskų (geležies chlorido ir geležies sulfato) dozavimu vienoda doze (0,1 gFe³⁺/l), paaiškėjo, kad, naudojant geležies chloridą, susidaro mažiau biodujų, palyginus su biodujų kiekiu iš kontrolinio reaktoriaus, tačiau jų kokybė yra geresnė (daugiau

metano). Tačiau pasirinktos geležies druskos koncentracijos neužtenka fosforui pašalinti.

Serijinio laboratorinio tyrimo su geležies paplavų įterpimu į pūdomo dumblo mišinį rezultatai parodė, kad geležies paplavų koncentracijos nuo 0,2 gFe³⁺/l iki 1,5 gFe³⁺/l neblogina metano susidarymo proceso, o didelė geležies paplavų koncentracija (7,5 gFe³⁺/l) dumble mažina metano susidarymą apie 13 %, palyginus su metano susidarymu iš kontrolinio reaktoriaus (0 gFe³⁺/l) – 299 NmlCH₄/gSM_{pad}.



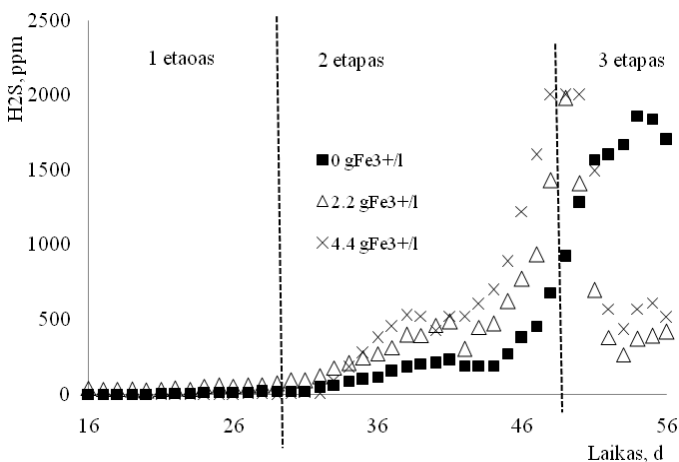
2 pav. Fosfatų, kalcio ir magnio koncentracijų dumblo vandenyje kitimas priklausomai nuo geležies paplavų koncentracijos (g Fe³⁺/l)

Tyrimo pūdytuvuose su geležies paplavų koncentracijomis 0,4 gFe³⁺/l, 0,8 gFe³⁺/l ir 1,5 gFe³⁺/l rezultatai parodė fosfatų koncentracijos dumblo vandenyje sumažėjimą atitinkamai 29, 75 ir 98 % lyginant su fosfatų koncentracija kontrolinio reaktoriaus pūdyto dumblo vandenyje (135,7 mgPO₄-P/l).

Reaktoriuje su didžiausia pasirinkta geležies paplavų koncentracija – 7,5 gFe³⁺/l, fosfatų koncentracija dumblo vandenyje sumažėjo 98 %, analogiškai ir buvo 2,3 mgPO₄-P/l, kaip ir reaktoriuje su 5 kartais mažesne geležies paplavų koncentracija. Tai rodo, kad didžiausia galima geležies paplavų koncentracija gali būti 1,5 gFe³⁺/l. Geležies paplavų įterpimas taip pat paskatino kalcio išsiskyrimą į dumblo vandenį, nustatyta tiesinė priklausomybė tarp geležies paplavų koncentracijos tiekiamajame dumble ir kalcio išsiskyrimo

į dumblo vandenį. Reaktoriuose su 1,5 gFe³⁺/l kalcio dumblo vandenyje buvo 148,0 mgCa/l, t. y. 2,8 daugiau, negu dumblo vandenyje iš reaktorių su 0 gFe³⁺/l.

Įvertinus gautus rezultatus kitam laboratoriniam serijiniam tyrimui buvo pasirinktos dvi geležies paplavų koncentracijos – 0,5 gFe³⁺/l (Fe:P = 1:1) ir 1,0 g Fe³⁺/l (Fe:P = 2:1 moline išraiška) koncentracijos. Tyrimų rezultatai parodė, kad pasirinktos geležies paplavų koncentracijos padidina metano susidarymą apie 10% palyginus su biodujų susidarymu iš reaktorių be geležies paplavų. Fosfatų koncentracija pūdyto dumblo vandenyje iš reaktorių su 0,5 gFe³⁺/l ir 1,0 g Fe³⁺/l geležies paplavų koncentracijomis sumažėjo atitinkamai 29 % ir 57 % palyginus su fosfatų koncentracija pūdyto dumblo vandenyje iš reaktoriaus, į kurį nebuvo įterpiamos geležies paplavos (0 gFe³⁺/l).



3 pav. Sieros vandenilio kitimas biodujose pusiau gamybinio eksperimento metu: 1 etapas – kontrolinis; 2 etapas – natrio sulfato įterpimas į tiekiamą dumblą; 3 etapas – geležies paplavų įterpimas į tiekiamą dumblą.

Atlikus eksperimentą pusiau gamybinėmis sąlygomis, paaiškėjo, kad geležies paplavų įterpimas gali greitai sumažinti sieros vandenilio susidarymą. Kai geležies paplavos į tiekiamą dumblą įterptos 75 mgSM_{GP}/gSM_{pad} ir 38 mgSM_{GP}/gSM_{pad} dozėmis arba jų koncentracija atitinkamai buvo 4,4 gFe³⁺/l ir 2,2 gFe³⁺/l, sieros vandenilio (H₂S) kiekis biodujose sumažėjo nuo apytiksliai 2000 ppm iki 570 ppm (3 pav.). Kontroliniame reaktoriuje, į kurį tiekias dumbblas be geležies paplavų, sieros vandenilio koncentracija išliko apie 2000 ppm.

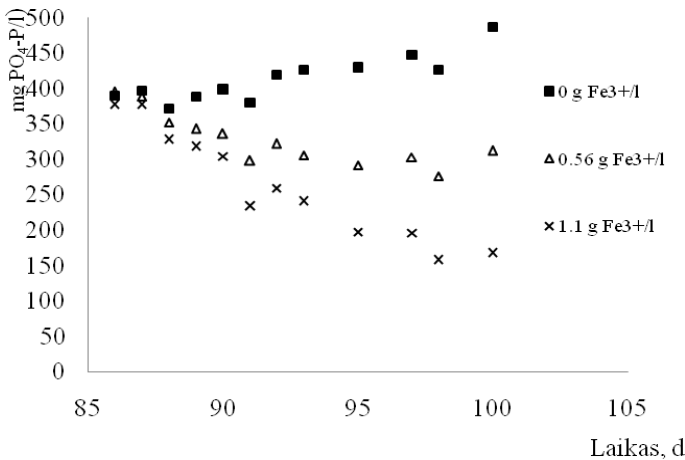
Vidutinė fosfatų koncentracija kontrolinio reaktoriaus pūdyto dumblo vandenyje siekė 327 mg PO₄-P/l, o reaktoriuose su geležies paplavomis buvo stebėtas fosfatų išsiskyrimo į dumblo vandenį sumažėjimas: 260 mg PO₄-P ir 179 mg PO₄-P atitinkamai reaktoriuose su 2,2 gFe³⁺/l ir 4,4 gFe³⁺/l geležies paplavų koncentracijomis. Fosfatų sumažėjo nuo 25 % iki 45 %, priklausomai nuo įterpiamų geležies paplavų koncentracijos.

Eksperimentas su geležies paplavų įterpimu į tiekiamą dumblą truko 3 dienas (49–51 d. viso eksperimento), vėliau jis buvo nutrauktas dėl staigaus lakiųjų riebalų rūgščių (acetato) padidėjimo reaktoriuje, į kurį buvo tiekiamas dumbblas su 4,4 gFe³⁺/l geležies paplavų koncentracija. Acetato koncentracija pūdytame dumble padidėjo nuo 50 mg/l (pagal ChDS) dumblo mišinio tiekimo metu iki 1700 mg/l geležies paplavų į tiekiamą dumblą įterpimo metu, tačiau pH pūdytuve išliko nepakitęs. Kontroliniame pūdytuve ir pūdytuve su 2,2 gFe³⁺/l paplavų koncentracija (38 mgSM_{GP}/gSM_{pad}) tiekiamame dumble lakiųjų riebiųjų rūgščių koncentracija išliko nepakitusi. Dėl lakiųjų riebiųjų rūgščių padidėjimo reaktoriuje su 4,4 gFe³⁺/l eksperimentas buvo nutrauktas. Po 30 dienų, kai stebėtas lakiųjų rūgščių kiekio sumažėjimas ir pastovus fosfatų išsiskyrimas į dumblo vandenį (ne mažiau kaip 400 mgPO₄-P/l), pradėtas geležies paplavų naudojimo fosfatams mažinti eksperimentas. Pasirinktas tolygus geležies paplavų dozavimas – 0,56 gFe³⁺/l ir 1,1 gFe³⁺/l (12 ir 25 gSM_{GP}/gSM_{pad}) siekiant išvengti lakiųjų riebalų rūgščių padidėjimo (4 pav.), 0,75 Fe³⁺: 1 P_{is} ir 1,5 Fe³⁺:1 P_{is} moline išraiška, kur P_{is} – pūdyimo metu išsiskyriantys fosfatai (PO₄-P).

Po kelių dienų nuo geležies paplavų dozavimo pradžios stebėtas fosfatų koncentracijos sumažėjimas iki 150 mg PO₄-P pūdytuvuose su 1,1 gFe³⁺/l koncentracija ir iki 300 mgPO₄-P/l reaktoriuje su 0,56 gFe³⁺/l koncentracija kontroliniame reaktoriuje fosfatų koncentracija buvo 450 mgPO₄-P/l.

Geležies paplavų įterpimas į tiekiamą dumblą leido sumažinti fosfatų išsiskyrimą į dumblo vandenį 33 % ir 66 %, atitinkamai prie 0,56 gFe³⁺/l ir 1,1 gFe³⁺/l geležies paplavų koncentracijų. Eksperimento metu metano kiekio sumažėjimas nebuvo pastebėtas, taip pat lakiųjų riebalų rūgščių koncentracija buvo vienoda visuose trijuose pūdytuvuose.

Remiantis gautais tyrimų rezultatais, pasiūlyta geležies paplavų panaudojimo technologinė schema Utenos nuotekų valyklos dumblo apdorojimo ūkyje. Šiuo metu Utenos valykloje pūdomas tik pirminis dumbblas, perteklinis veiklusis dumbblas yra tirštinamas, sausinamas ir laikinai sandėliuojamas dumblo aikštelėje.



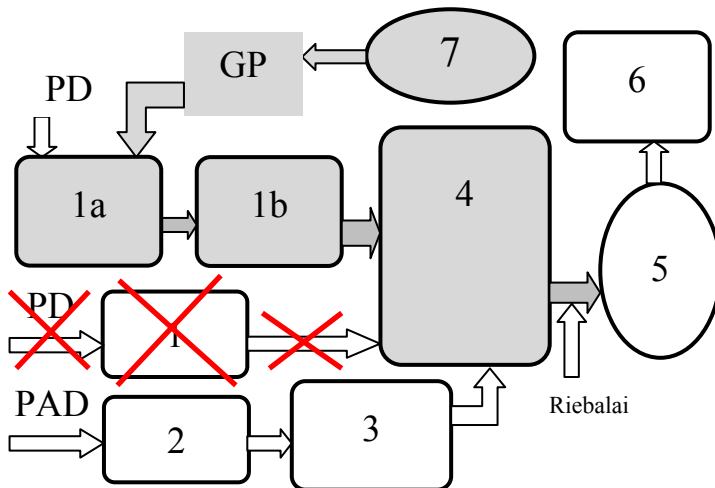
4 pav. Fosfatų koncentracijos kitimas pusiau gamybinio eksperimento metu

Ateityje planuojama pūdyti pirminio ir perteklinio dumblo mišinį. Pirminis ir perteklinis dumblas tirštinami atskirai mechaninio tirštinimo įrenginiuose, perteklinis dumblas apdorojamas ultragarsu. Paruošto dumblo mišinys tiekiamas į pūdytuvus, kuriuose į dumblo vandenį išsiskiria fosfatai. Pastarųjų grąžinimas kartu su dumblo vandeniu į nuotekų valymo proceso pradžią gali sutrikdyti biologinio fosforo šalinimo eigą dėl papildomos apkrovos fosfatais. Utenos valyklos dumblo mišinio apdorojimo schemoje fosforui iš dumblo vandens pašalinti numatomas aliuminio sulfato $Al_2(SO_4)_3$ dozavimas į biologinių reaktorių, kurio naudojimas gali sukelti sieros vandenilio susidarymą biodujose.

Siekiant pasiūlyti geležies paplavų panaudojimą Utenos valyklos dumblo apdorojimo įrenginiuose buvo atlikti susidarančių dumblo ir dumblo vandens kiekių skaičiavimai. Jie parodė, kad grąžinamo į nuotekų valymo proceso pradžią pūdyto dumblo vandens debitas yra $145,5 \text{ m}^3/\text{d}$, o fosfatų koncentracija jame yra apie $150 \text{ gPO}_4\text{-P}/\text{m}^3$, t. y. į valyklos pradžią grąžinamo fosforo kiekiai yra $21,8 \text{ kgP}/\text{d}$. Aliuminio sulfato $Al_2(SO_4)_3$ kiekis, reikalingas fosforui pašalinti pūdyto dumblo vandenyje yra $28,4 \text{ kg}/\text{d}$. Vidutinė aliuminio sulfato tonos kaina yra 400 Lt, taigi metinės sąnaudos aliuminio sulfato pirkimui būtų 103,6 tūkst. Lt.

Technologinėje schemoje numatytas paplavų atvedimas iš Utenos vandens ruošimo įrenginių. Vidutinė vandens ruošimo įrenginiuose sulaikytos geležies

masė yra 28 kg Fe/d. Šiuo metu geležies paplavyos kartu su plovimo vandeniu išleidžiamos į nuotekų tinklus, vidutinis debitas yra 44 m³/d.



5 pav. Geležies paplavų panaudojimo Utenos valyklos dumblo apdorojimo ūkyje technologinė schema: PD – valykloje susidarantis pirminis dumblas, PAD – valykloje susidarantis perteklinis veiklusis dumblas; GP – geležies paplavyos iš Utenos vandens ruošimo įrenginių; 1 – pirminio dumblo tirštinimas; 1a – pirminio dumblo ir geležies paplavų sumaišymo talpa; 1b – pirminio dumblo ir geležies paplavų tirštinimas; 2 – perteklinio veikiojo dumblo tirštinimas; 3 – perteklinio dumblo apdorojimas utragarsu; 4 – pirminio dumblo su įterptomis paplavomis ir perteklinio dumblo sumaišymas; 5 – dumblo mišinio pūdymas; 6 – pūdyto dumblo sausinimas; 7 – geležies paplavų surinkimo rezervuaras

Beveik pusė visų fosfatų gali būti pašalinta su geležies paplavomis, gautomis iš Utenos vandens ruošimo įrenginių. Tai leistų sutaupyti apie 50 tūkst. Lt/metus. Tikslui pasiekti siūloma įrengti geležies paplavų surinkimo rezervuarą vandens ruošimo įrenginių, pakloti geležies paplavų slėginę liniją iš Utenos vandens ruošimo įrenginių į valyklą ir įrengti pirminio dumblo su geležies paplavomis sumaišymo talpą. Geležies paplavų panaudojimas Utenos valyklos dumblo apdorojimo ūkyje leis sumažinti fosfatų išsiskyrimą į dumblo vandenį ir neleis formuotis vandenilio sulfidui biodujose, tai pat sumažins tradicinių reagentų poreikį bei skatins antrinių žaliavų panaudojimą.

Bendrosios išvados

1. Geležies chlorido dozavimas į tiekiamą dumblą koncentracijomis 0,8 ir 1,7 gFe³⁺/l pablogina biodujų susidarymą, atitinkamai, biodujų susidarymas gali sumažėti iki 26 ir 44 %. Fosfatai pūdyto dumblo vandenyje iš reaktorių su 0,8 ir 1,7 gFe³⁺/l sumažėjo apie 80%, palyginus su fosfatų kiekiais pūdyto dumblo vandenyje kontrolinio etapo metu, kai buvo tiekiamas dumblas be geležies chlorido.

2. Laboratorinių tyrimų rezultatai parodė, kad geležies paplavų naudojimas sumažina fosfatų išsiskyrimą į pūdyto dumblo vandenį. Pūdytuvuose su geležies paplavų koncentracijomis 0,4; 0,8 ir 1,5 g Fe³⁺/l dumblo vandenyje fosfatų koncentracija atitinkamai sumažėjo 29, 75 ir 98 %, palyginus su fosfatų koncentracija pūdytame dumblo vandenyje iš reaktoriaus su 0 gFe³⁺/l.

3. Laboratorinių tyrimų rezultatai su 0,5 gFe³⁺/l ir 1,0 gFe³⁺/l geležies paplavų koncentracijomis pūdomame dumble parodė 10 % didesnę metano susidarymą ir 29 ir 57 % fosfatų dumblo vandenyje sumažėjimą, lyginant su pūdytuvų be geležies paplavų dozavimo.

4. Geležies paplavų dozavimas į tiekiamą dumblą parodė sieros vandenilio sumažėjimą biodujose. Tiekiant dumblą su 2,2 gFe³⁺/l ir 4,4 gFe³⁺/l geležies paplavų koncentracijomis (38 ir 75 mgSM_{GP}/gSM_{pad}) sumažino sieros vandenilio susidarymą biodujose nuo 2000 ppm iki 570 ppm.

5. Dumblo su 1,1 gFe³⁺/l ir 0,56 gFe³⁺/l (arba atitinkamai 25 ir 12 mgSM_{GP}/gSM_{pad}) geležies paplavų koncentracijomis tiekimas į pūdytuvus sumažino fosfatų koncentracijas dumblo vandenyje atitinkamai iki 66 ir 33 %, palyginus su fosfatų koncentracijomis kontrolinio pūdytuvo vandenyje (450 gPO₄-P/l).

6. Geležies paplavų (28 kgFe/d) panaudojimas Utenos valyklos dumblo apdorojimo ūkyje pagal pasiūlytą technologinę schemą leistų sumažinti cheminių reagentų, naudojamų fosforui šalinti, kiekius. Pasiūlytos technologinės schemos įgyvendinimas leis sutaupyti apie 50 tūkst. Lt per metus.

Rekomendacijos

1. Siekiant dumblo pūdymo metu sumažinti fosfatų išsiskyrimą iš dumblo į dumblo vandenį bei vandenilio sulfido kiekį biodujose rekomenduojama naudoti geležies paplavas. Geležies paplavų panaudojimas labiausiai rekomenduojamas valyklose, kuriose fosforas šalinamas biologiniu būdu. Geležies paplavų naudojimas sumažins cheminių reagentų, naudojamų fosfatų šalinimui, kiekius.

2. Geležies paplavų dozavimas į pūdomą dumblą turi būti tolygus. Šiuo tikslu vandens ruošimo įrenginiuose rekomenduojama įrengti geležies paplavų surinkimo rezervuarą su nuolatiniu maišymu. Priklausomai nuo sausos medžiagos koncentracijos geležies paplavose, jos gali būti tiesiogiai dozuojamos į pūdomą dumblą arba tankinamos kartu su tiekiamu dumbliu.

Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Ofverstrom, S.; Sapkaitė, I.; Dauknys, R. 2010. Cheminio fosforo šalinimo įtaka anaerobiniam dumblo pūdyimo procesui, *Mokslas – Lietuvos ateitis = Science – future of Lithuania: Aplinkos apsaugos inžinerija* 2(5): 71–74. ISSN 2029–2341 (Index Copernicus).

Ofverstrom, S.; Dauknys, R.; Sapkaitė, I. 2011. The effect of iron salt on anaerobic digestion and phosphate release to sludge liquor. *Mokslas – Lietuvos ateitis = Science – future of Lithuania: Aplinkos apsaugos inžinerija* 3(5): 123–126 (ICONDA; Gale; ProQuest; EBSCOhost; IndexCopernicus).

Kituose leidiniuose

Tomczak-Wandzel, R.; Ofverstrom, S.; Dauknys, R.; Mędrzycka, K. 2011. Effect of disintegration pretreatment of sewage sludge for enhanced anaerobic digestion, *8th International Conference „Environmental Engineering“, Selected papers (19–20, May 2011, Vilnius, Lithuania)* 2: 679–683, ISSN 2029-7106 (Conferences Proceedings Citation Index).

Ofverstrom, S.; la Cour Jansen, J.; Dauknys, R. 2011. Impact of iron salts dosing on anaerobic digestion process and struvite/vivianite formation: a review, *Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2011) (8–10 September 2011, Rhodes island, Greece)* 1: 1341–1346, ISBN: 978-1-62748-192-2 (Conference Proceedings Citation Index).

Ofverstrom, S. [Офверстром, С.]; Kering, J. [Керинг, Й.]. 2012. *Опыт и молодость в решении водных проблем: обработка осадка сточных вод в Литве – до и после входа в Европейский Союз, Водные ресурсы и водопользование* 3(98): 5–9. ISSN 2225–577X.

Ofverstrom, S.; Sapkaite, I.; Dauknys, R. 2010. An investigation of impact of iron and aluminium addition on the anaerobic digestion process, *Linnaeus ECO-TECH'10 : proceedings of the 7th international conference on natural sciences and technologies for waste and wastewater treatment, remediation, emissions related to climate, environmental and economic effects (November 22–24, Kalmar, Sweden)* 558–563.

Ofverstrom, S.; Sapkaite, I.; Dauknys, R. 2010. Pirminio-perteklinio dumblo mišinio anaerobinio pūdyimo tyrimai, *13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2010 m. teminės konferencijos "Pastatų inžinerinės*

sistemos" (2010 m. balandžio 15–16 d., Vilnius, Lietuva) straipsnių rinkinys, 72–75, ISBN 9789955285601.

Ofverstrom, S.; Sapkaitė, I.; Dauknys, R. 2011. Iron and aluminium as inhibitors of anaerobic digestion of primary-waste activated sludge mixture, *International Conference of young scientists on energy issues (CYSENI 2011) (May 26–27, 2011, Lithuanian Energy Institute, Kaunas, Lithuania) [elektroninis išteklius]* 1:6. ISSN 1822-7554.

Arlauskaitė, G.; Katinauskas, D.; Ofverstrom, S.; Dauknys, R. 2012. Geležies druskų įtaka dumblo pūdymo procesui, *15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos "Mokslas – Lietuvos ateitis" 2012 metų teminės konferencijos "Pastatų inžinerinės sistemos" straipsnių rinkinys (2012 m. balandžio 12–13 d., Vilnius, Lietuva)* 11–15. ISSN 2029–7157.

Trumpos žinios apie autorių

Svetlana Ofverstrom gimė 1976 m. sausio 5 d. Vilniuje, Lietuva. 2002 m. įgijo aplinkos inžinerijos bakalauro laipsnį, 2008 m. aplinkos inžinerijos magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakultete. Nuo 2008 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantė. 2010–2012 metais stažavoši Lundo Universiteto Chemijos fakulteto Vandens ir aplinkos inžinerijos grupėje. Šiuo metu dirba projektų vadovės pareigose UAB „Statybų inžinerinės paslaugos“ ir lektore Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Vandentvarkos katedroje.

RESEARCH AND EVALUATION OF IRON IMPACT ON SLUDGE DIGESTION PROCESS

Topicality of the problem

Stringent requirements on wastewater treatment (nutrient removal) are applied in European Union and worldwide in case to lower eutrophication of water bodies. Biological and (or) chemical phosphorus removal processes are used at the wastewater treatment plants. Increased amounts of sludge generates because of phosphorus removal. Sludge handling cost reaches about 50% of all expenses at wastewater treatment plant. Anaerobic digestion is mainly used sludge handling method which decreases amounts of sludge due to reduction of organics and produce biogas which can be used at the treatment plant as local energy source. Main problems existing at the wastewater treatment plants with biological phosphorus removal where anaerobic digestion of sludge mixture is implemented are: risk of hydrogen sulphide production in biogas and high concentration of phosphates in digested sludge liquor.

Hydrogen sulphide is toxic for the personal gas, also it damages equipment. For the reduction of hydrogen sulphide in biogas iron salts (chlorides or sulphates) are widely used at the treatment plants.

Release of phosphates from polyphosphates accumulating microorganisms cells into digested sludge liquor occurs under anaerobic conditions. Concentration of phosphates in digested sludge liquor which is recycled to the beginning of the wastewater treatment plant can be up to 600 mgPO₄-P/l. In case to prevent overloading of biological phosphorus removal process by released phosphates concentration phosphorus should be removed from sludge liquor.

In Lithuania and other countries where iron-rich ground water is used as a source for the preparation of drinking water, huge amounts of ochre (iron sludge) are produced. Iron should be removed before supply to customers to meet hygienic norm requirements. At the moment ochre is disposed to landfills and no re-use is implemented. Ochre can be used as the alternative source of iron at the wastewater treatment plant with biological phosphorus removal and anaerobic digestion process applied.

During past years in Lithuania and other countries the main attention has been paid to the recycling of the wastes and investigation of possible local renewable sources. It is necessary to fully investigate use of ochre at the wastewater treatment plant with biological phosphorus removal for the improving of digestion process and prevention of overloading of phosphorus removal process by phosphates in digested sludge liquor.

Research object

Research object was anaerobic digestion of sludge mixture with added traditional and alternative iron sources.

Aim and tasks of work

The aim of work was to examine the potential of ochre as an alternative iron source and to investigate factors governing anaerobic digestion process quality: methane production, hydrogen sulphide removal process and reduction of internal recycling of phosphates at wastewater treatment plants with biological phosphorus removal.

Tasks to be solved to achieve the aim of dissertation:

1. To collect, review and analyse operational data of selected existing anaerobic digesters. To compare anaerobic digestion process quality and identify problems regarding use of aluminium and iron salts. To analyse

digested sludge mixture samples from wastewater treatment plants with different phosphorus removal (biological and (or) chemical).

2. To determine relationships between iron salt doses and types and anaerobic digestion process quality, this will be qualified by biogas production and phosphates release into digested sludge liquor, by making laboratory experiments.
3. To make anaerobic digestion laboratory experiments with addition of different doses and types of ochre into feed sludge, to evaluate effect of ochre on methane production rate and phosphates precipitation.
4. To make pilot-scale experiments and evaluate ochre ability to reduce hydrogen sulphide production in biogas and phosphates release into digested sludge liquor.
5. To propose technological scheme for possible use of ochre at wastewater treatment plants with biological phosphorus removal.

Methodology of research

Research has been made in two European countries: Sweden and Lithuania. Used sludge mixture was obtained from wastewater treatment plants (WWTP) with biological phosphorus (Bio-P) removal process located in Lithuania (LT) and Sweden; ochre originated from groundwater treatment plants located in Lithuania and Denmark. Laboratory and pilot-scale anaerobic digesters were used for the experiments. Standard and specific methodology was used for the evaluation of anaerobic digestion process quality.

Scientific novelty

Complex evaluation of ochre impact on sludge mixture handling has been made. Technological scheme for possible use of ochre during anaerobic digestion of sludge mixture at the treatment plants with biological phosphorus removal has been proposed.

Practical value of the results

Research results showed that ochre can be used at the wastewater treatment plants with biological phosphorus removal for the improving of anaerobic digestion of sludge mixture process. Proposed doses of ochre can be used for the reduction of hydrogen sulphide formation in biogas and removal of phosphates in digested sludge liquor without inhibition of biogas production and quality.

Defended propositions

1. Addition of ochre into feed sludge mixture before digestion at wastewater treatment plants with biological phosphorus reduce phosphates concentration in digested sludge liquor and prevent hydrogen sulphide formation in biogas.
2. In order to prevent inhibition of anaerobic digestion process ochre dose not higher than $38 \text{ mgTS}_{\text{ochre}}/\text{gTS}_{\text{in}}$ sludge mixture should be applied continuously.
3. Reuse of ochre instead of traditional reagents lowers amount of wastes for landfilling and let to recycle them.

Dissertation structure. Dissertation consists of introduction, three chapters, main conclusions and recommendations. The total amount of dissertation is 98 pages, 24 formulas, 24 figures, and 32 tables. Totally 162 references were used during preparation of dissertation.

General conclusions

1. Addition of iron chloride into fed sludge in 0.8 and 1.7 gFe^{3+}/l concentrations decrease biogas production 26 and 44 % relatively. Decrease of phosphates up to 80% in digested sludge liquor from the reactors with 0.8 and 1.7 gFe^{3+}/l compare with concentration in digested sludge liquor from control period, when iron chloride was not added.
2. Laboratory experiments results with addition of ochre into feed sludge showed good results on removal of phosphates. In reactors with added ochre in concentrations of 0.4; 0.8 and 1.5 gFe^{3+}/l precipitation of phosphates in digested sludge liquor was 29, 75 and 98 % relatively, compare to the concentration of phosphates in control reactor with 0 gFe^{3+}/l
3. Results of laboratory experiments using pressed ochre in concentrations of 0.5 gFe^{3+}/l and 1 gFe^{3+}/l showed 10% higher methane production compare to methane production from undosed sludge and 29 and 57% decrease of phosphates concentration in digested sludge liquor compare to reactor with 0 gFe^{3+}/l .
4. Dosing of ochre into feed sludge decrease in hydrogen sulphide formation in biogas. Feeding of sludge with 2.2 and 4.4 gFe^{3+}/l ochre concentration

(38 and 75 mgTS_{ochre}/gTS_{in}) showed drop in hydrogen sulphide production from 2000 ppm to 570 ppm.

5. Feeding of sludge with 1.1 gFe³⁺/l and 0.56 gFe³⁺/l concentrations of ochre (25 and 12 mgTS_{ochre}/gTS_{in}) decreased concentration of phosphates by 66 and 33% relatively compare to concentration of phosphates in digested sludge liquor in control reactor (450 gPO₄-P/l).
6. Use of ochre (28 kgFe/d) at Utena WWTP according to proposed technological scheme will let to decrease the amount of chemicals used for phosphorus removal in digested sludge liquor. Implementation of proposed technological scheme will let to save about 50 thousands Lt per annual.

Recommendations

1. Ochre can be used for improving of anaerobic digestion process efficiency. Use of ochre is highly recommended at the WWTPs with biological phosphorus removal plants due to precipitation of phosphates in digested sludge liquor. Dosing of ochre will reduce the amount of chemical reagents for removal of phosphates which lower wastewater treatment price.
2. For the successful implementation, ochre should be dosed continuously into feed sludge. For this reason, collecting reservoirs with constant mixing should be installed at the water treatment plants. Ochre can be dosed into feed sludge directly or thickened prior the digestion process.

Information about author

Svetlana Ofverstrom was born 5th of January, 1976 in Vilnius, Lithuania. In 2002 obtained Environmental engineering bachelor's degree, and in 2008 – Environmental Engineering Master's degree at Environmental Engineering Department at Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. During 2008–2013 has been studying as PhD student at Vilnius Gediminas Technical University. From 2010 to 2012 was visiting PhD student at Water and Environmental group at Chemical Department at Lund University, Sweden. At present time is working as Project Leader at JSC Statybų inžinerinės paslaugos and as lector at Water Department at Environmental Engineering Faculty of Vilnius Gediminas Technical University.

Svetlana Ofverstrom

GELEŽIES POVEIKIO DUMBLO PŪDYMO PROCESUI
TYRIMAI IR VERTINIMAS

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, Aplinkos inžinerija (04T)

Svetlana Ofverstrom

RESEARCH AND EVALUATION OF IRON IMPACT ON
SLUDGE DIGESTION PROCESS

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Environmental Engineering (04T)

2013 12 27. 1,5 sp. l. Tiražas 70 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius