



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS KATEDRA

Ala Sokolova

AERAVIMO SISTEMŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI

THE RESEARCH OF AERATION SYSTEMS EFFICIENCY

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T105

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika
(Vardas, pavardė)

(Data)

Ala Sokolova

AERAVIMO SISTEMŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI

THE RESEARCH OF AERATION SYSTEMS EFFICIENCY

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T105

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Mindaugas Rimeika _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
VANDENTVARKOS KATEDRA

Technologijos mokslo sritis

Aplinkos inžinerijos ir kraštotvarkos mokslo kryptis

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa

Valstybinis kodas 62404T105

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika

(Vardas, pavardė)

2010-01-11

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2009-09-30 Nr. M-10-45

Vilnius

Studentei Alai Sokolovai

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Aeravimo sistemų efektyvumo tyrimai

patvirtinta 2009 m. lapkričio mėn. 30 d. dekanato potvarkiu Nr. 341ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2010 m. birželio mėn. 02 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti nuotekų valymo įrenginiuose naudojamų aeravimo metodų, įrenginių ir sistemų literatūros apžvalgą, įvertinti aeravimo sistemų skaičiavimo metodus. Susipažinti ir įsisavinti švaraus vandens deguoninimo valymo įrenginiuose veikliuoju dumblyje įrenginiuose metodais ir įsisavinti tyrimų metodiką. Mažuose nuotekų valymo įrenginiuose taikomų aeravimo įrenginių apžvalgą. Atlikti dažniausiai mažuose nuotekų valymo įrenginiuose taikomų aeravimo įrenginių technologinį įvertinimą. Nustatyti kaip aeravimo efektyvumas priklauso nuo aeravimo įrenginio, jų kiekio, pastatymo pobūdžio, orapūtės dydžio, įrenginio konstrukcijos. Pateikti rekomendacijas mažų nuotekų valymo įrenginių aeravimo sistemų projektavimui ir jų darbo įvertinimu.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantas: lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

dr. Mindaugas Rimeika

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau:

.....
(Parašas)

Ala Sokolova

(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Vandentvarkos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data 2010.-... -.....

Magistrantūros studijų **Vandens ūkio inžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Aeravimo sistemų efektyvumo tyrimai**

Autorius **Ala Sokolova**

Vadovas **doc. dr. Mindaugas Rimeika**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistriniame darbe nagrinėjamas aeravimo sistemų darbo efektyvumas ir jo priklausomybė nuo įvairių veiksnių.

Magistrinis darbas sudarytas iš dviejų dalių: pirmoje dalyje apžvelgiama mokslinė literatūra, susijusi su nagrinėjama tematika, antroje dalyje aprašomi darbo autoriaus atlikti tyrimai ir pateikiami gauti rezultatai.

Literatūros apžvalgoje pateikiama informacija apie egzistuojančių aeratorių tipus, nuotekų valymo procesus, kuriems reikalingas deguonis, deguonies poreikio ir aeravimo sistemų darbo parametrų skaičiavimą, šių parametrų priklausomybę nuo įvairių veiksnių.

Eksperimentinėje tiriamojoje dalyje palyginta, koks vamzdinio membraninio difuzoriaus montavimo būdas – vertikaliai ar horizontaliai – yra efektyvesnis deguonies perdavimo požiūriu. Taip pat įvertinta, kokią įtaką vertikaliai sumontuotų vamzdinių difuzorių darbo parametrams turi difuzorių ilgis ir skaičius, oro tiekimo būdas, aerotanko konstrukcija ir nejudančios įkrovos buvimas aerotanke. Bandymų metu taip pat palygintos dviejų rinkoje egzistuojančių ir mažuose nuotekų valymo įrenginiuose naudojamų difuzorių darbo charakteristikos.

Darbą sudaro: įvadas, dvi dalys, išvados ir rekomendacijos bei literatūros sąrašas.

Darbo apimtis: 74 p. teksto be priedų, 40 iliustracijų, 7 lentelės, 31 bibliografinis šaltinis, 1 priedas.

Prasminiai žodžiai

aeravimas, deguonies perdavimas, difuzorius, oksidacinis pajėgumas, deguonies ištirpinimo efektyvumas, energetinis aeravimo efektyvumas, nuotekos.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Water Management

ISBN
Copies No.
Date 2010-.....-.....

Master Degree Studies **Water Economy Engineering** study programme Master's Thesis

Title **The research of aeration systems efficiency**

Author **Ala Sokolova**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Mindaugas Rimeika**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In this Master thesis aeration systems' efficiency and its dependence on various factors are analyzed.

The Master thesis consists of two parts. Scientific literature related to the topic of the Master thesis is reviewed in the first part of the work. The second part comprises of the description of the research performed by the author and its results.

Literature review includes information on the types of existing aerators, wastewater treatment processes that require oxygen, the calculation of oxygen requirement and aeration systems' operating parameters as well as the dependence of these parameters on various factors.

In the second part of the Master thesis the research on aeration systems' efficiency and its dependence on various factors are described. Firstly, it is analyzed whether the way of mounting a membrane tube diffuser – horizontally or vertically – has an impact on the operational parameters of an aeration system. The impact of vertically mounted tube diffusers' length, quantity, the way of air supply, the design of an aerotank and the presence of a fixed carrier in an aerotank on the operational parameters of a diffuser are also identified in this part. Finally, the research has been also carried out to compare the operational parameters of two diffusers of different types offered on the market and being used in small wastewater treatment plants.

The Master thesis includes an introduction, two major parts, conclusions and recommendations as well as the table of literature sources.

The Master thesis consists of 74 pages without appendixes, 40 pictures, 7 tables, 31 bibliographical sources, 1 appendix.

Keywords

aeration, oxygen transfer, diffuser, oxygen transfer rate, oxygen transfer efficiency, aeration efficiency, wastewater.

Turinys

Paveikslų sąrašas.....	3
Lentelių sąrašas.....	5
Įvadas	7
1. Literatūros apžvalga.....	9
1.1. Aeravimo sistemų reikalingumas.....	9
1.2. Aeravimo sistemų raida	9
1.3. Panardinamieji difuzoriai.....	10
1.3.1. Poringieji difuzoriai	12
1.3.2. Neporingieji difuzoriai.....	16
1.3.3. Difuzorių išdėstymo aerotanke būdai	16
1.4. Mechaniniai aeratoriai	19
1.5. Kiti oro paskleidimo prietaisai.....	22
1.6. Procesai, kuriems reikalingas deguonis	22
1.7. Aeravimo sistemų skaičiavimas.....	23
1.7.1. Standartinių aeratorių darbo charakteristikų nustatymas	23
1.7.2. Aeratoriaus darbo charakteristikų perskaičiavimas į tikrąsias sąlygas	27
1.7.3. Veiksniai, turintys įtakos difuzorių darbo charakteristikoms	34
1.7.4. Deguonies poreikio skaičiavimas	39
1.7.5. Aeravimo sistemų skaičiavimas Lietuvoje	40
1.7.6. Deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimo Lietuvoje ir užsienyje palyginimas.....	43
1.8. Išvados	46
2. Eksperimentinė tiriamoji dalis	49
2.1. Darbo objektas	49
2.2. Bandymų metodika	51
2.3. Skaičiavimų metodika.....	57
2.4. Tyrimų rezultatai.....	59
2.4.1. Oro tiekimo būdo įtaka vertikalčiai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus darbo parametrams.....	60

2.4.2. Vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo įtaka difuzoriaus darbo parametrms.....	60
2.4.3. Vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus įtaka aeravimo sistemos darbo parametrms	63
2.4.4. Aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo įtaka aeravimo sistemos darbo parametrms	65
2.4.5. Rinkoje egzistuojančių difuzorių darbo parametrų palyginimas	68
Išvados	71
Rekomendacijos.....	72
Literatūra.....	73
Priedas 1.....	76

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Vamzdiniai difuzoriai: A – keraminiai ir nelankstaus plastiko, B – membraniniai (Design Manual... 1989)	14
1.2 pav. Difuzoriai: A – kupolo formos, B – diskinis membraninis (Design Manual... 1989)	15
1.3 pav. Neporingasis difuzorius (Mueller <i>et al.</i> 2002)	16
1.4 pav. Difuzorių išdėstymo aerotanke būdai (Mueller <i>et al.</i> 2002)	17
1.5 pav. Cirkuliuojantis nuotekų tekėjimas, kai difuzoriai išdėstyti: A – išilgai vienos ilgosios aerotanko sienos, B – išilgai aerotanko horizontaliosios ilgosios centrinės ašies (Mueller <i>et al.</i> 2002)	18
1.6 pav. Mechaniniai aeratoriai su vertikaliąja ašimi: A – paviršiniai, B – paviršiniai su tuščiaviduriu vamzdžiu, C – panardinamieji (Metcalf ir Eddy 2003, Mechanical Aerator... 2009)	20
1.7 pav. Šepetinis aeratorius (Envirocan Wastewater... 2010)	21
1.8 pav. Kiti oro paskleidimo prietaisai: A – čiurkšlinis aeratorius, B – siurbiamasis aeratorius (Metcalf ir Eddy 2003, Jantrania 2006)	22
1.9 pav. Bandymų stendas, skirtas difuzorių standartiniams darbo parametrams nustatyti (Дорошев ir Лось 2000).....	25
1.10 pav. Deguonies perdavimo koeficiento nustatymas (Casey 1997)	26
1.11 pav. α koeficiento priklausomybė nuo dumblo amžiaus ir difuzoriaus panardinimo gylio (Gillot ir Heduit 2008)	30
1.12 pav. α koeficiento priklausomybė nuo ekvivalentinio kontakto laiko (Gillot ir Heduit 2008)	30
1.13 pav. Ekvivalentinio kontakto laiko skaičiavimas: d_{bs0} – oro burbuliuko skersmuo esant atmosferiniam slėgiui, m; $d_{bs,mid}$ – oro burbuliukų skersmuo difuzoriaus panardinimo gylyje, padalintame per pusę, m; Z – difuzoriaus panardinimo gylis, m; k_{La} – deguonies perdavimo koeficientas, 1/s; a – specifinis oro ir vandens sąlyčio plotas, m^2/m^3 ; k_L – deguonies perdavimo koeficientas, m/s; ε_G – deguonies sulaikymas (santykinis oro kiekis vandenyje); u_G – oro greitis, m/s; Q_A – tiekiamo oro debitas, m^3/s ; S – aeruojamas plotas, m^2 (Gillot ir Heduit 2008).....	31

1.14 pav. Naujų ir naudotų difuzorių užsikimšimo koeficiento priklausomybė nuo tiekiamo oro debito (Rosso <i>et al.</i> 2008b).....	32
1.15 pav. Pataisos koeficientas, įvertinantis deguonies tirpumo skirtumą skirtinguose aukščiuose (Metcalf ir Eddy 2003)	34
1.16 pav. Oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo tiekiamo oro debito ir difuzoriaus panardinimo gylio (Wagner ir Popel 1998)	35
1.17 pav. Deguonies perdavimo efektyvumo priklausomybė nuo tiekiamo oro debito ir difuzoriaus panardinimo gylio (Wagner ir Popel 1998)	37
1.18 pav. Deguonies perdavimo efektyvumo priklausomybė nuo difuzorių išdėstymo tankio (Wagner ir Popel 1998).....	37
1.19 pav. Naudoto difuzoriaus tiekiamo oro paskirstymas (Rosso <i>et al.</i> 2008b)	38
1.20 pav. Reikiamos aeravimo sistemos oksidacinio pajėgumo skaičiavimas	43
2.1 pav. Rezervuaras, kuriame buvo vykdomi tyrimai	49
2.2 pav. Tirtieji difuzoriai: A – vamzdinis, B – diskinis.....	50
2.3 pav. Naudota orapūtė	51
2.4 pav. Bandymų stendas	52
2.5 pav. Naudoti prietaisai	54
2.6 pav. Oro tiekimo į vertikaliai sumontuotą vamzdinį difuzorių būdai: A – iš viršaus, B – iš apačios.....	54
2.7 pav. Vamzdinio difuzoriaus montavimas: A – horizontaliai, B – vertikaliai	55
2.8 pav. Difuzorių ilgio ir skaičiaus įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su visu difuzoriaus ilgiu, B – bandymai atlikti su puse difuzoriaus ilgio, C – oras tiekiamas į du lygiagrečiai sumontuotus difuzorius	55
2.9 pav. Centrinio vamzdžio įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su sumontuotu centriniu vamzdžiu, B – bandymai atlikti išmontavus centrinį vamzdį.....	56
2.10 pav. Nejudančios įkrovos įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su įdėta įkrova, B – bandymai atlikti išėmus įkrovą	56
2.11 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo	61
2.12 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo	61

2.13 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo	62
2.14 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus	63
2.15 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus	64
2.16 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus	64
2.17 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo.....	66
2.18 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo	67
2.19 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo	67
2.20 pav. Rinkoje egzistuojančių difuzorių standartinis oksidacinis pajėgumas.....	69

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Įvairių difuzorių tipinės oro debito ir standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo reikšmės (Metcalf ir Eddy 2003)	19
1.2 lentelė. Įvairių mechaninių aeratorių standartinio energetinio aeravimo efektyvumo reikšmės (Metcalf ir Eddy 2003)	21
1.3 lentelė. Savitasis deguonies sunaudojimas biocheminiuose procesuose (z) priklausomai nuo dumblo amžiaus (Θ) ir dumblo mišinio temperatūros (τ) (Matuzevičius 2000)	42
1.4 lentelė. Išvalytų nuotėkų BDS_5 priklausomybė nuo aktyviojo dumblo apkrovos (A)/dumblo amžiaus (Θ) (Matuzevičius 2000).....	42
1.5 lentelė. Vandens prisotinimas deguonimi (C_{τ}) esant atmosferiniam slėgiui ir temperatūrai (τ) (Matuzevičius 2000).....	42
1.6 lentelė. Teršalų kiekio patekimo netolygumo koeficiento (k) priklausomybė nuo dumblo amžiaus (Θ) (Matuzevičius 2000)	43

2.1 lentelē. Oro tiekimo būdo ietaka difuzoriaus darbo parametriem.....	60
---	----

Įvadas

Aerobinis nuotekų valymas yra vienas iš pasaulyje dažniausiai taikomų nuotekų valymo būdų. Jis pagrįstas tuo, kad mikroorganizmai, esantys veikliajame dumble, savo gyvybinėms funkcijoms palaikyti naudoja nuotekose esančius teršalus, o jiems oksiduoti naudoja deguonį. Tačiau deguonis dėl blogo tirpumo vandenyje negali būti pasisavintas tiesiai iš oro, todėl dideliems deguonies kiekiams perduoti naudojami specialūs prietaisai, vadinami aeratoriais (Metcalf ir Eddy 2003).

Aerobiniai nuotekų valymo procesai reikalauja didelių elektros energijos sąnaudų. Dažnai išlaidos elektros energijai sudaro trečdalį visų nuotekų valyklos eksploatavimo kaštų, o išlaidos elektros energijai, reikalingai aeravimui, sudaro 60–65 % visų išlaidų elektros energijai (Duchene *et al.* 2001, Rosso *et al.* 2008a). Todėl mokslininkai ir gamintojai stengiasi tobulinti esamas valymo technologijas, kuria efektyvesnes aeravimo sistemas.

Aeravimo sistema turi atitikti du pagrindinius reikalavimus: pirma, ji į aerotanką turi įterpti tokį deguonies kiekį, kad ištirpusio deguonies koncentracija nuotekose niekada netaptų kritiniu veiksniu, darančių įtakos aerotanko darbui; antra, aeravimo sistemos elektros energijos suvartojimas turi būti kiek galima mažesnis (Casey 1997).

Taigi šio *darbo tikslas* yra ištirti, kokie veiksniai turi įtakos aeravimo sistemų darbo parametrams, o šio *darbo objektas* yra aeravimo sistemos, naudojamos mažuose nuotekų valymo įrenginiuose.

Vamzdinių difuzorių gamintojai pateikia vamzdinių difuzorių darbo charakteristikas jų horizontaliam pastatymui. Tačiau kadangi maži nuotekų valymo įrenginiai yra nedidelių išmatavimų bei įvairių formų, gaminant juos, konstrukciniu požiūriu gali būti patogiau difuzorių montuoti vertikaliai. Šio darbo *naujumas* yra tas, kad juo siekiama išsiaiškinti, kokią įtaką aeravimo sistemos darbo parametrams turi vertikalus vamzdinio difuzoriaus montavimas. Be to, šio darbo naujumas yra tas, kad jame siekiama patikrinti, ar nejudančios įkrovos buvimas aerotanke turi įtakos deguonies perdavimui, kadangi mokslinėje literatūroje aprašoma tik judriosios įkrovos įtaka deguonies perdavimui.

Darbas yra *aktualus* tuo požiūriu, kad jame siekiama išanalizuoti, kokie veiksniai turi įtakos aeravimo sistemų darbo parametrams. Atsakius į šį klausimą, ateityje bus galima išvengti klaidų ir projektuoti efektyvias aeravimo sistemas.

Darbo tikslui pasiekti sprendžiami tokie *uždaviniai*:

- 1) Palyginti, kaip skiriasi to paties vamzdinio difuzoriaus darbo charakteristikos, sumontavus jį vertikaliai ir horizontaliai.
- 2) Išsiaiškinti, koks deguonies padavimo į vertikaliai sumontuotą vamzdinį difuzorių būdas – iš viršaus ar iš apačios – yra geresnis difuzoriaus darbo efektyvumo požiūriu.
- 3) Išsiaiškinti, kokią įtaką vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus darbui turi jo ilgis ir kokią įtaką deguonies perdavimui turi lygiagretus vertikaliai sumontuotų vamzdinių difuzorių jungimas arba, kitaip sakant, difuzorių skaičius.
- 4) Kadangi maži nuotekų valymo įrenginiai gaminami įvairių konstrukcijų, patikrinti, ar rezervuaro konstrukcija (t. y. centrinio vamzdžio buvimas) turi įtakos difuzoriaus darbo parametrams. Tam bus atlikti deguoninimo bandymai aerotanke su centriniu vamzdžiu ir nesant centrinio vamzdžio.
- 5) Patikrinti, kaip difuzoriaus darbo parametrus veikia nejudančios įkrovos būvimas aerotanke. Tam bus atlikti deguoninimo bandymai, kai aerotanke yra įkrova ir kai ji yra išimta.
- 6) Palyginti dviejų rinkoje egzistuojančių ir mažuose nuotekų valymo įrenginiuose naudojamų difuzorių darbo charakteristikas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Aeravimo sistemų reikalingumas

Šiuo metu pasaulyje nuotekos dažniausiai valomos aerobinio biologinio valymo būdu. Deguonies koncentracija nuotekose yra svarbus parametras, nuo kurio priklauso geras aerotanko darbas. Tačiau deguonis dėl blogo tirpumo vandenyje negali būti pasisavintas tiesiai iš oro, todėl dideliems deguonies kiekiams perduoti naudojami įvairūs būdai ir prietaisai, kuriuos galima suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas: panardinami ir paviršiniai aeravimo prietaisai. Kuo giliau yra įterpiami oro burbuliukai, tuo ilgesnis yra kontakto tarp oro ir nuotekų laikas, todėl panardinami aeravimo prietaisai paprastai būna efektyvesni už paviršinius. Panardinamų aeravimo prietaisų kategorijai priklauso difuzoriai, čiurkšliniai aeratoriai. Tuo tarpu prie paviršinių aeratorių priskiriama dauguma mechaninių aeratorių, siurbiamieji aeratoriai, slenkstiniai aeratoriai (Jantrania 2006, Metcalf ir Eddy 2003).

Pagrindinė aeravimo sistemos paskirtis yra tokio kiekio deguonies įterpimas į nuotekas, kad ištirpusio deguonies koncentracija nuotekose niekada netaptų kritiniu veiksniu, darančiu įtakos aerotanko darbui; kitaip sakant, į nuotekas turi būti įterpta tiek deguonies, kiek jo yra sunaudojama biologinių procesų metu. Tačiau kadangi deguonies įterpimas į nuotekas sukelia turbulenciją, kartu su nuotekų prisotinimu deguonimi aeratoriai taip pat gali būti naudojami ir nuotekų maišymui (Casey 1997, Droste 1997, Jantrania 2006).

1.2. Aeravimo sistemų raida

Nuotekų aeravimo bandymai pirmą kartą buvo atlikti Anglijoje 1882 metais. Šių bandymų metu oras į nuotekas buvo įterpiamas per atvirą oro tiekimo vamzdžio galą ir per skyles vamzdžiuose. Vis labiau vystantis veikliojo dumblo tyrimams, buvo bandyta pasiekti didesnę deguonies perdavimo efektyvumą. Tam suspaustą orą buvo bandyta tiekti per įvairias poringas medžiagas ir tokiu būdu pagaminti mažesnius oro burbuliukus. Tyrimai buvo atliekami su klintimi, ugniai atspariomis plytomis, smėlio ir stiklo mišiniais, pemza ir kitomis medžiagomis (Design Manual... 1989).

1915 metais Anglijoje prekyboje pasirodė pirmieji poringieji lakštai (angl. *plates*). JAV jie pasirodė po kelių metų ir 1930–1940 metais jie tapo pačiu populiariausiu aeravimo būdu šioje

šalyje. Poringieji lakštai buvo gaminami iš keramikos. Jie buvo įrengiami užcementuojant juos aerotanko dugne padarytose nišose arba pritvirtinant prie laikiklių, o ertmė po lakštais buvo naudojama orui tiekti. Lakštai pasižymėjo ilgu tarnavimo laiku, aukštu deguonies perdavimo efektyvumu, jų valymas vietoje buvo lengvas. Tačiau lakštų įrengimas buvo brangus, priežiūra sudėtinga, užcementuotus lakštus buvo sunku pašalinti. Be to, jei ertmė orui tiekti buvo bendra iš karto kelioms plokštėms, buvo sunku užtikrinti tolygų oro paskirstymą visiems tai ertmei priklausantiems lakštams, todėl ilgainiui jie buvo keičiami kitos formos difuzoriais (Design Manual... 1989, Metcalf ir Eddy 2003).

Greitai buvo pastebėta, kad poringieji difuzoriai linkę užsikimšti. Šiai problemai išspręsti buvo atliekami bandymai siekiant pagerinti tiekiamo oro kokybę. Po šių bandymų atsirado efektyvūs oro filtrai, kurie iki šiol naudojami daugelyje aeravimo sistemų su poringaisiais difuzoriais. Taip pat, siekiant išspręsti difuzorių užsikimšimo problemą, buvo sukurta daug mechaninio aeravimo prietaisų ir difuzoriai su didelėmis oro tiekimo angomis (neporingieji). Pirmieji neporingieji difuzoriai pasirodė prekyboje dar 1904 metais Anglijoje, o 1950-aisiais metais atsirado patobulintos šių difuzorių versijos. Jos pasižymėjo paprasta priežiūra ir eksploatacija, bet tuo pat metu jų deguonies perdavimo efektyvumas buvo mažesnis lyginant su smulkiaburbuliais difuzoriais. Todėl galiausiai 1970-aisiais metais buvo pradėti tyrimai siekiant padidinti aeravimo sistemų energetinį efektyvumą. Po šių tyrimų poringieji difuzoriai buvo patobulinti atsižvelgiant į jiems būdingus trūkumus ir jie vėl tapo populiarūs dėl gaminamų mažų oro burbuliukų ir aukšto deguonies perdavimo efektyvumo (Design Manual... 1989).

1.3. Panardinamieji difuzoriai

Difuzoriais vadinami prietaisai, montuojami tam tikru atstumu (dažniausiai prie pat aerotanko dugno) nuo vandens lygio aerotanke ir į kuriuos oras tiekiamas orapūtėmis oro tiekimo vamzdžiais.

Panardinamieji difuzoriai pagal pagaminamų oro burbuliukų dydį dažnai skirstomi į stambiaburbulius ir smulkiaburbulius. Kuo mažesnius burbuliukus gamina difuzorius, tuo didesnis jų paviršiaus ploto ir tūrio santykis, tuo didesnis yra deguonies perdavimo efektyvumas. Tačiau, kita vertus, reikia atsižvelgti į faktą, kad kuo mažesni burbuliukai, tuo didesni slėgio nuostoliai, kadangi mažesniems burbuliukams pagaminti reikia mažesnio skersmens angų. Be to, mažesnio skersmens angos gali greičiau užsikimšti (Droste 1997).

JAV Aplinkosaugos agentūros (Environmental Protection Agency) išleistame Smulkiaburbulių aeravimo sistemų projektavimo vadove (Design Manual: Fine Pore Aeration Systems) (1989) stambiaburbuliams difuzoriams priskiriami tokie, kurie gamina 6–10 mm skersmens oro burbuliukus švariame vandenyje, tuo tarpu smulkiaburbuliai difuzoriai yra tokie, kurie gamina 2–5 mm skersmens burbuliukus švariame vandenyje.

Reikia pastebėti, kad mažus oro burbuliukus gali gaminti ne tik difuzoriai, bet ir kiti aeravimo prietaisai, pvz., čiurkšliniai aeratoriai (Rosso *et al.* 2008a, Rosso ir Stenstrom 2006), tačiau šiame darbe prie smulkiaburbulių aeravimo prietaisų bus priskiriami tik panardinamieji difuzoriai.

Aerobiniai nuotekų valymo procesai reikalauja didelių elektros energijos sąnaudų. Dažnai išlaidos elektros energijai sudaro trečdalį visų nuotekų valyklos eksploatavimo kaštų, o išlaidos elektros energijai, reikalingai aeravimui, sudaro 60–65 % visų išlaidų elektros energijai (Duchene *et al.* 2001, Rosso *et al.* 2008a). Todėl mokslininkai ir gamintojai stengiasi tobulinti esamas valymo technologijas, kuria efektyvesnes aeravimo sistemas. Viena iš tokių sistemų, kuri šiuo metu plačiai naudojama, yra būtent smulkiaburbuliai difuzoriai. Jų energetinis aeravimo efektyvumas yra didesnis negu kitų aeravimo prietaisų, todėl nuotekų valymo įrenginiuose sumontavus tokius difuzorius, išlaidas, susidariusias dėl elektros energijos suvartojimo aeravimui, galima sumažinti iki 50 %. Be to, palyginti su kitais aeravimo būdais, naudojant tokius aeratorius susidaro mažesni aerozolių kiekiai, jie sukelia mažiau triukšmo (Design Manual... 1989, Kaliman *et al.* 2008, Rosso ir Stenstrom 2006, Sanchez-Monedero *et al.* 2008, Wagner ir Popel 1998).

Iš kitos pusės, smulkiaburbuliai difuzoriai turi ir trūkumų. Tai – galimas jų užsikimšimas biologine plėvele, neorganinėmis druskomis ir tiekiamo oro nešvarumais, jei jie nėra reguliariai valomi, ir deguonies perdavimo efektyvumo sumažėjimas dėl paviršių aktyvinančių medžiagų įtakos. Stambiaburbuliai ir paviršiniai aeratoriai tokių trūkumų dažniausiai neturi, tačiau, įrengus tokius aeravimo prietaisus, išlaidos elektros energijai bus didesnės (Rosso *et al.* 2008a, Rosso *et al.* 2008b).

Difuzorių skirstymas į smulkiaburbulius ir stambiaburbulius nėra griežtai apibrėžtas, todėl Metcalf ir Eddy (2003) siūlo juos skirstyti pagal jų fizines charakteristikas. Tokiu būdu skiriami du difuzorių tipai:

- 1) poringieji difuzoriai;
- 2) neporingieji difuzoriai.

1.3.1. Poringieji difuzoriai

Poringieji difuzoriai gaminami įvairių formų – diskų, kupolų, plokščių, vamzdžių – ir įvairių medžiagų. Naudojant poringuosius difuzorius, tiekiamas oras turi būti gerai išvalytas, kitaip difuzoriaus poros gali užsikimšti (Metcalf ir Eddy 2003).

Visas medžiagas, iš kurių gaminami poringieji difuzoriai, galima suskirstyti į standžias ir lanksčias. Dažniausiai poringieji difuzoriai gaminami iš keramikos, poringojo plastiko ir perforuotų membranų.

Keramika yra seniausia medžiaga, iš kurios gaminami difuzoriai. Ji sudaryta iš sukibusių apvalių arba netaisyklingos formos neorganinių dalelių, kurios rišamosiomis medžiagomis yra surišamos tarpusavyje, tada slegiamos sukuriant įvairias formas ir deginamos aukštoje temperatūroje siekiant suformuoti keraminius ryšius tarp šių dalelių. Tokiu būdu tarp surištų dalelių susidaro susijungiantys kanalai, kuriais ir yra tiekiamas oras. Keraminiai difuzoriai gaminami iš aliuminio oksido (molžemio), aliuminio silikato ir silicio dioksido. Jie iki šiol užima nemažą dalį difuzorių rinkos, kadangi difuzoriai iš naujai sukurtų medžiagų ne visada pateisina lūkesčius, tuo tarpu keraminiai difuzoriai naudojami jau seniai ir jų privalumai ir trūkumai yra gerai žinomi (Design Manual... 1989).

Difuzoriai iš poringojo plastiko, kaip ir keraminiai difuzoriai, yra sudaryti iš sukibusių apvalių arba netaisyklingos formos dalelių, tarp kurių susidarė susijungiantys kanalai, kuriais ir yra tiekiamas oras. Gamybos proceso metu šių kanalų (angų) skersmenį galima reguliuoti. Palyginti su keraminiais difuzoriais, difuzoriai iš poringojo plastiko pasižymi tokiais privalumais: gamybos proceso paprastumas, mažesnis svoris, ilgaamžiškumas, patvarumas, didesnis atsparumas lūžimui. Jų trūkumai – mažesnis atsparumas aplinkos poveikiams, mažesnis atsparumas gniuždomoms apkrovoms.

Difuzoriai iš poringojo plastiko gali būti lankstūs ir nelankstūs. Lankstūs plastikiniai difuzoriai gaminami iš didelio tankio polipropileno (HDPE) ir gumos mišinio. Nelankstūs plastikiniai poringi difuzoriai gaminami iš termoplastinių polimerų, tokių kaip polietilenas, polipropilenas, stiren-akrilonitrilas ir kt. Šiuo metu nelankstūs plastikiniai poringi difuzoriai dėl savo trūkumų ir dėl kitų difuzorių atsiradimo nėra tokie populiariūs kaip anksčiau (Design Manual... 1989).

Membraniniai difuzoriai nuo keraminių ir difuzorių iš poringo plastiko skiriasi tuo, kad kanalai oro srautui susidaro ne natūraliai medžiagos gamybos proceso metu, bet angos orui yra

padaromos perforuojant medžiagą. Kai oras tiekiamas į tokį difuzorių, medžiaga išsiplečia ir angos atsidaro: kuo didesnis tiekiamo oro debitas, tuo anga tampa didesnė. Kai oras išjungiamas, membrana sandariai priglusta prie ją palaikančios konstrukcijos, tokiu būdu minimizuojama galimybė nuotekoms patekti į difuzorių (Design Manual... 1989, Metcalf ir Eddy 2003).

Membraniniai difuzoriai naudojami jau daugiau negu 60 metų. Iš pradžių jie buvo vadinami „kojinėmis“ ir gaminami iš tokių medžiagų kaip plastikas arba audinys. Kartu su audiniu buvo naudojama metalinė arba plastikinė konstrukcija, palaikanti difuzoriaus formą. Tačiau nors „kojinės“ ir pasižymėjo aukštu deguonies perdavimo efektyvumu, jos dažnai užsikimšdavo, todėl šiuo metu pirminis membraninių difuzorių variantas nėra naudojamas.

Naujas membraninių difuzorių tipas atsirado 1980-aisiais metais. Tokie difuzoriai buvo gaminami iš plonos membranos, kuri savo ruožtu pagaminta iš termoplastinių medžiagų (pvz., polivinilchloridas (PVC)) arba elastomerų (pvz., etilenpropilendienmonomeras (EPDM)). Kadangi medžiagos, iš kurių buvo gaminami šie difuzoriai, buvo lanksčios, difuzoriai irgi vadinami lanksčiais. Siekiant pagerinti membranos savybes, gaminant membraną dedama įvairių priedų.

Pagrindinis membraninių difuzorių privalumas yra tai, kad jie dėl savo lygaus paviršiaus yra atsparesni užsikimšimui. Jų trūkumas – galimas membranos savybių pasikeitimas bėgant laikui. Membraninio difuzoriaus savybių pasikeitimą gali įtakoti plastifikatoriaus praradimas, formos praradimas dėl valkšnumo, reakcijos su nuotekose esančiomis medžiagomis, cheminiai pokyčiai dėl aplinkos poveikio ir kt. (Design Manual... 1989)

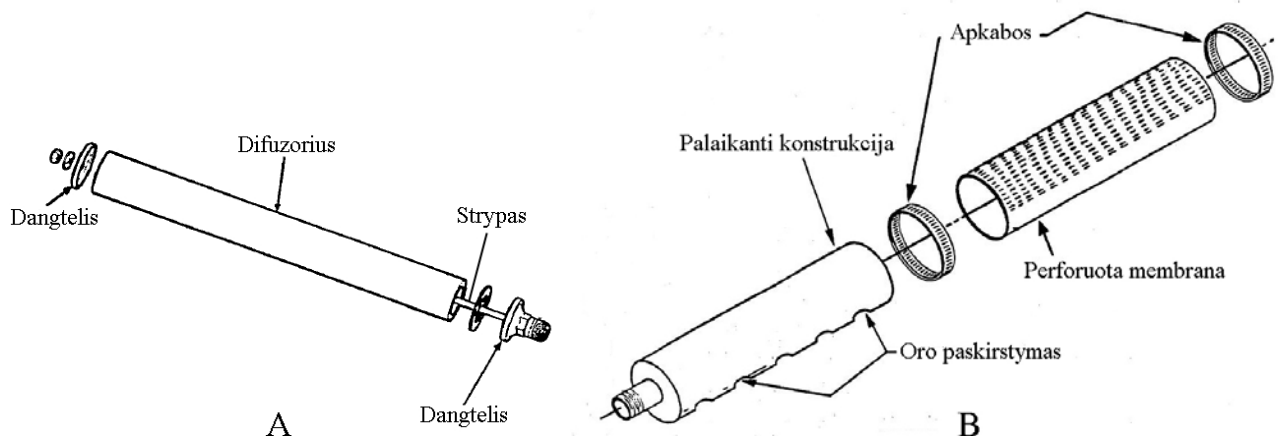
Poringieji difuzoriai gaminami įvairių formų – diskų, kupolų, plokščių, vamzdžių.

Vamzdiniai difuzoriai nuotekų valyme naudojami jau daugybę metų. Iš pradžių jie buvo gaminami iš aliuminio oksido, vėliau atsirado vamzdinių difuzorių iš stiren-akrilonitrilo (SAN), poringo aukšto tankio polietileno (HDPE). Šiuo metu populiariausi yra lankstaus plastiko ir membraniniai vamzdiniai difuzoriai.

Keraminių ir nelankstaus plastiko vamzdinių difuzorių tvirtinimas yra panašus (1.1 pav., A): iš abiejų pusių ant difuzoriaus uždedami dangteliai, sujungti tarpusavyje strypu, kuris eina per vamzdinio difuzoriaus vidų. Tarp difuzoriaus kraštų ir dangtelių dedama tarpinė, siekiant užtikrinti difuzoriaus sandarumą.

Membraniniai difuzoriai dėl savo lankstumo reikalauja vidinės palaikančios konstrukcijos (1.1 pav., B). Ji gaminama iš plastiko ir taip pat yra vamzdžio formos. Išilgai palaikančios

konstrukcijos jos išorinėje pusėje padaryti grioveliai, kuriais tiekiamas oras. Kai oras išjungiamas, membrana sandariai priglusta prie ją palaikančios konstrukcijos, tokiu būdu minimizuojama galimybė nuotekoms patekti į difuzorių. Palaikančios konstrukcijos galai uždaromi, o ant kiekvieno iš difuzoriaus galų uždedamos metalinės apkabos, kurios pritvirtina membraną prie palaikančios konstrukcijos (Design Manual... 1989).



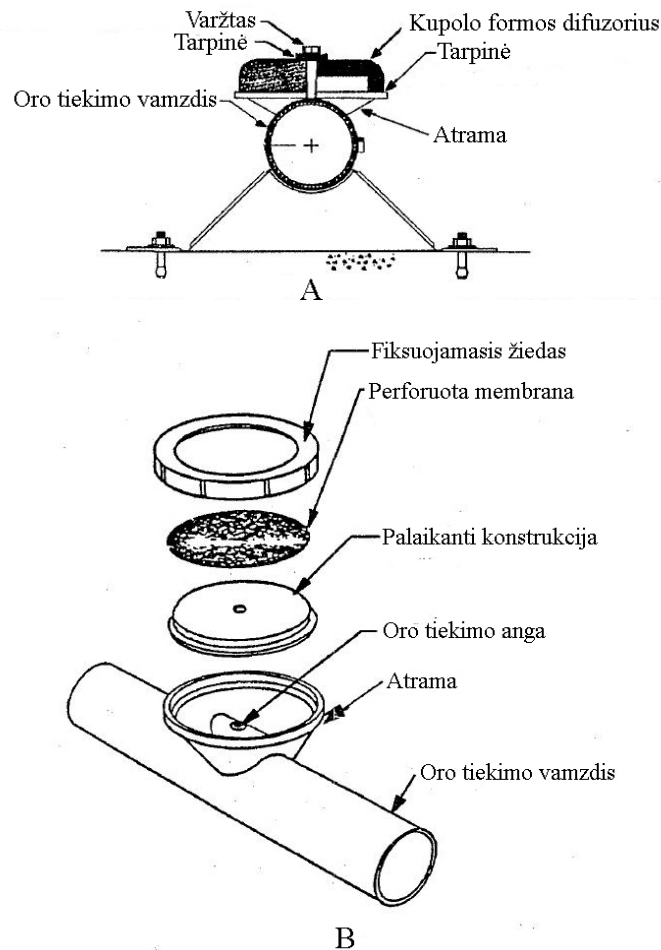
1.1 pav. Vamzdiniai difuzoriai: A – keraminiai ir nelankstaus plastiko, B – membraniniai (Design Manual... 1989)

Dėl vamzdinių difuzorių formos kartais oras tiekiamas ne per visą difuzoriaus skerspjūvio perimetrą ir ilgainiui neveiklios zonos, pro kurias nėra tiekiamas oras, gali užsikimšti. Oro paskirstymas priklauso nuo difuzoriaus tipo, tačiau dažniausiai neveiklios zonos plotas priklauso nuo tiekiamo oro debito ir slėgio nuostolių per membraną: didėjant nuostoliams, oras tiekiamas per didesnę difuzoriaus plotą (Design Manual... 1989).

Kupolo formos difuzoriai buvo sukurti 1950-aisiais metais Europoje. Kupolo formos difuzorius – tai apvalus diskas, kurio kraštai leidžiasi žemyn (1.2 pav., A). Dažniausiai šie difuzoriai gaminami iš aliuminio oksido. Kupolo formos difuzorius varžtu tvirtinamas prie atramos. Tvirtinant difuzorių svarbu neužveržti varžto per stipriai, kitaip difuzorius gali lūžti arba ateityje praleisti orą. Tarp difuzoriaus ir atramos bei tarp difuzoriaus ir varžto dedamos guminės tarpinės.

Diskiniai difuzoriai (1.2 pav., B) yra plokšti ir nuo kupolo formos difuzorių skiriasi tuo, kad jų kraštai nesileidžia žemyn. Jie gali būti keraminiai, nelankstaus poringo plastiko ar membraniniai. Keraminiai ar nelankstaus plastiko difuzoriai tvirtinami prie atramos varžtu arba prisukamu fiksuojamu žiedu. Taip pat tarp difuzoriaus ir atramos bei tarp difuzoriaus ir varžto

dedamos guminės tarpinės. Tvirtinant difuzorių žiedu, taip pat dedama tarpinė (Design Manual... 1989).



1.2 pav. Difuzoriai: A – kupolo formos, B – diskinis membraninis (Design Manual... 1989)

Difuzoriaus tvirtinimas prie atramos fiksuojamuoju žiedu yra priimtinesnis, kadangi varžto atveju, užsikimšus difuzoriui, dideli oro kiekiai išeis per nepritvirtintus difuzoriaus kraštus ir varžto vietą, o netolygus oro tiekimas sumažins deguonies perdavimo efektyvumą. Tuo tarpu fiksuojamojo žiedo atveju tokio netolygaus oro paskirstymo galima išvengti. Be to, kaip jau buvo minėta anksčiau, per stipriai pritvirtinus difuzorių varžtu prie atramos, difuzorius gali lūžti arba ateityje praleisti orą.

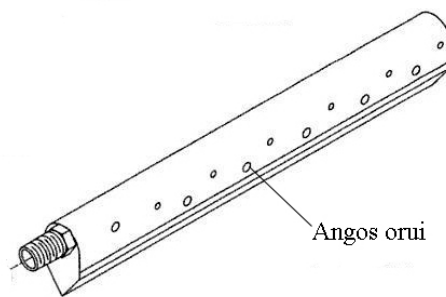
Membraniniai diskiniai difuzoriai, kaip ir membraniniai vamzdiniai difuzoriai, dėl savo lankstumo reikalauja palaikančios konstrukcijos, kuri prie difuzoriaus tvirtinama fiksuojamuoju žiedu. Kai oras tiekiamas į difuzorių, membrana pasikelia. Jei ji pasikelia daugiau negu

rekomenduoja gamintojas, tiekiamas oras gali būti paskirstytas netolygiai, todėl membrana centre papildomai gali būti pritvirtinta prie palaikančios konstrukcijos varžtu (Design Manual... 1989).

Rusijos įmonė „Экополимер“ sukūrė naujos konstrukcijos difuzorių АКБА-ТОР. Pasak gamintojų, diskinių difuzorių darbo metu oras kyla į viršų taip vadinamu fakelu, kuris tam tikru atstumu nuo difuzoriaus susitraukia, susitraukimo vietoje formuojasi sūkuriai, kurie sujungia mažus oro burbuliukus į didelius, dėl ko deguonies tiekimas blogėja. Be to, diskinių difuzorių atveju po jais kaupiasi dumblas. Tuo tarpu šie trūkumai naujame difuzoriuje yra pašalinti. Difuzorius АКБА-ТОР yra žiedo formos, kitaip sakant, tai yra diskinis difuzorius su skylė centre. Išorinis žiedo skersmuo yra 1,5–2,6 karto didesnis už skylės skersmenį. Tokio difuzoriaus darbo metu vanduo kartu su dumblu kyla per skylę į viršų. Tokiu būdu dumblas po difuzoriumi nesikaupia, oro fakelas susitraukia mažiau, o jo susitraukimas įvyksta aukščiau negu diskinių difuzorių atveju. Tyrimais buvo įrodyta, kad uždengus skylę šiame difuzoriuje, deguonies perdavimo koeficientas sumažėja 15–20 % (Мешенгиссер *et al.* 2000).

1.3.2. Neporingieji difuzoriai

Neporingieji difuzoriai (1.3 pav.) gamina didesnius oro burbuliukus negu poringieji, todėl jų aeravimo efektyvumas yra mažesnis. Tačiau tokie difuzoriai yra pigesni, jiems reikia mažiau priežiūros, tiekiamam orui griežtų išvalymo reikalavimų nekeliami. Dažniausiai neporingieji difuzoriai naudojami aeruojamose smėliagaudėse, dumblui stabilizuoti, pramoninėms nuotekoms valyti, nuotekų flokuliacijai (Metcalf ir Eddy 2003).



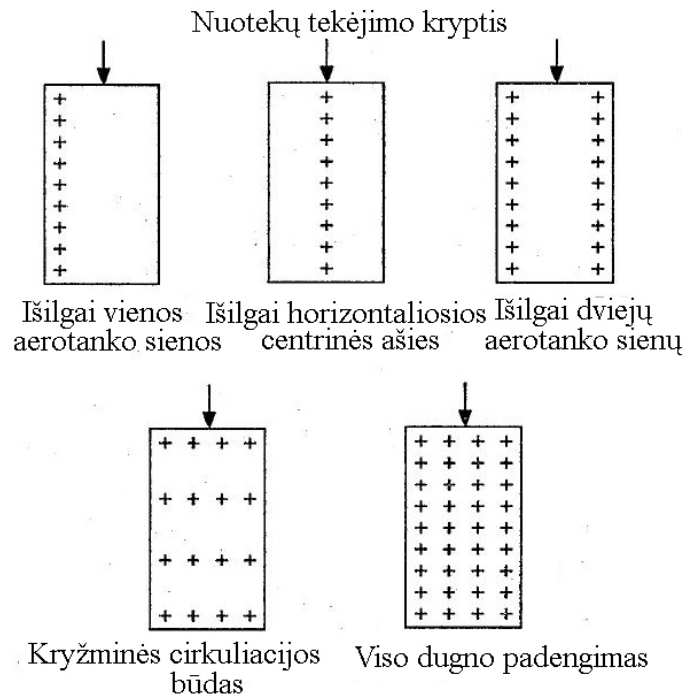
1.3 pav. Neporingasis difuzorius (Mueller *et al.* 2002)

1.3.3. Difuzorių išdėstymo aerotanke būdai

Difuzoriai aerotanke gali būti išdėstyti tokiais būdais (1.4 pav.):

- 1) išilgai vienos ilgosios aerotanko sienos (angl. *Single Spiral Roll*);

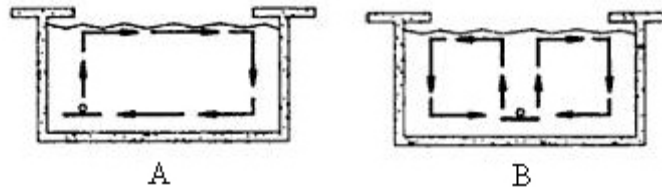
- 2) išilgai aerotanko horizontaliosios ilgosios centrinės ašies (angl. *Mid-Width (Center)*);
- 3) išilgai dviejų ilgujų aerotanko sienų (angl. *Dual Spiral Roll*);
- 4) kryžminės cirkuliacijos būdu (angl. *Cross Roll*);
- 5) viso dugno padengimas (angl. *Total Floor Coverage*).



1.4 pav. Difuzorių išdėstymo aerotanke būdai (Mueller *et al.* 2002)

Viso dugno padengimo atveju oro tiekimo vamzdžiai gali būti klojami išilgai ilgosios ar trumposios aerotanko sienų, o atstumas tarp oro tiekimo vamzdžių ir atstumas tarp difuzorių yra lygūs. 1923 metais JAV pirmą kartą buvo panaudotas difuzorių išdėstymas išilgai vienos aerotanko sienos. Tokio išdėstymo atveju nuotekos, oro burbuliukų paveiktos, juda į tas aerotanko dalis, kuriose difuzorių nėra, taip sukurdamos nuotekų cirkuliaciją. Buvo manyta, kad toks išdėstymas dėl cirkuliuojančio tekėjimo (1.5 pav., A) užtikrina ilgesnį oro burbuliukų ir nuotekų kontaktą, o tai pagerins deguonies perdavimą, tačiau realybėje tokio išdėstymo deguonies perdavimo efektyvumas pasirodė esąs mažesnis negu viso dugno padengimo atveju. Kita vertus, difuzorių išdėstymas išilgai vienos aerotanko sienos pasižymėjo geru nuotekų išmaišymu. Be to, jam reikėjo mažiau vamzdžių, o tai mažina įrengimo kaštus. Todėl buvo bandoma šį išdėstymą tobulinti. Taip atsirado difuzorių išdėstymas išilgai dviejų aerotanko sienų bei išilgai aerotanko horizontaliosios centrinės ašies (1.5 pav., B), esant kuriems tėkmė irgi cirkuliuoja. Kryžminės cirkuliacijos atveju

oro tiekimo vamzdžiai klojami statmenai ilgajai aerotanko sienai ir atstumas tarp jų yra didesnis negu atstumas tarp difuzorių. Toks išdėstymas reikalauja mažesnių įrengimo kaštų. Kryžminės cirkuliacijos atveju srovė irgi cirkuliuoja, tačiau nėra prieita vieningos išvados dėl to, ar toks išdėstymas užtikrina gerą nuotekų maišymąsi (Capela *et al.* 2001, Mueller *et al.* 2002).



1.5 pav. Cirkuliuojantis nuotekų tekėjimas, kai difuzoriai išdėstyti: A – išilgai vienos ilgosios aerotanko sienos, B – išilgai aerotanko horizontaliosios ilgosios centrinės ašies (Mueller *et al.* 2002)

Vamzdiniai difuzoriai dažniausiai išdėstomi išilgai vienos ar dviejų ilgujų aerotanko sienų arba ties aerotanko viduriu, tačiau jie gali būti išdėstyti ir kryžminės cirkuliacijos būdu arba padengti visą dugną. Diskiniai ir kupolo formos difuzoriai dažniausiai išdėstomi padengiant visą dugną. Tais atvejais, kai deguonies poreikis yra nedidelis, šie difuzoriai gali būti išdėstomi išilgai vienos arba dviejų aerotanko sienų arba ties viduriu. Smulkiaburbuliai difuzoriai dažniausiai išdėstomi padengiant visą dugną, kadangi būtent toks išdėstymas yra efektyviausias deguonies perdavimo požiūriu. Visais atvejais visų formų difuzoriai montuojami kiek galima arčiau aerotanko dugno (Mueller *et al.* 2002, Rosso *et al.* 2008a).

1.1 lentelėje pateikiamos įvairių difuzorių tipinės oro debito ir standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo reikšmės priklausomai nuo jų išdėstymo aerotanke būdo. Dideliuose aerotankuose difuzoriai dažniausiai yra montuojami 4,5 m gylyje nuo vandens lygio. 1.1 lentelėje standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo reikšmės pateiktos būtent tokiam panardinimo gyliui (Metcalf ir Eddy 2003).

1.1 lentelė. Įvairių difuzorių tipinės oro debito ir standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo reikšmės (Metcalf ir Eddy 2003)

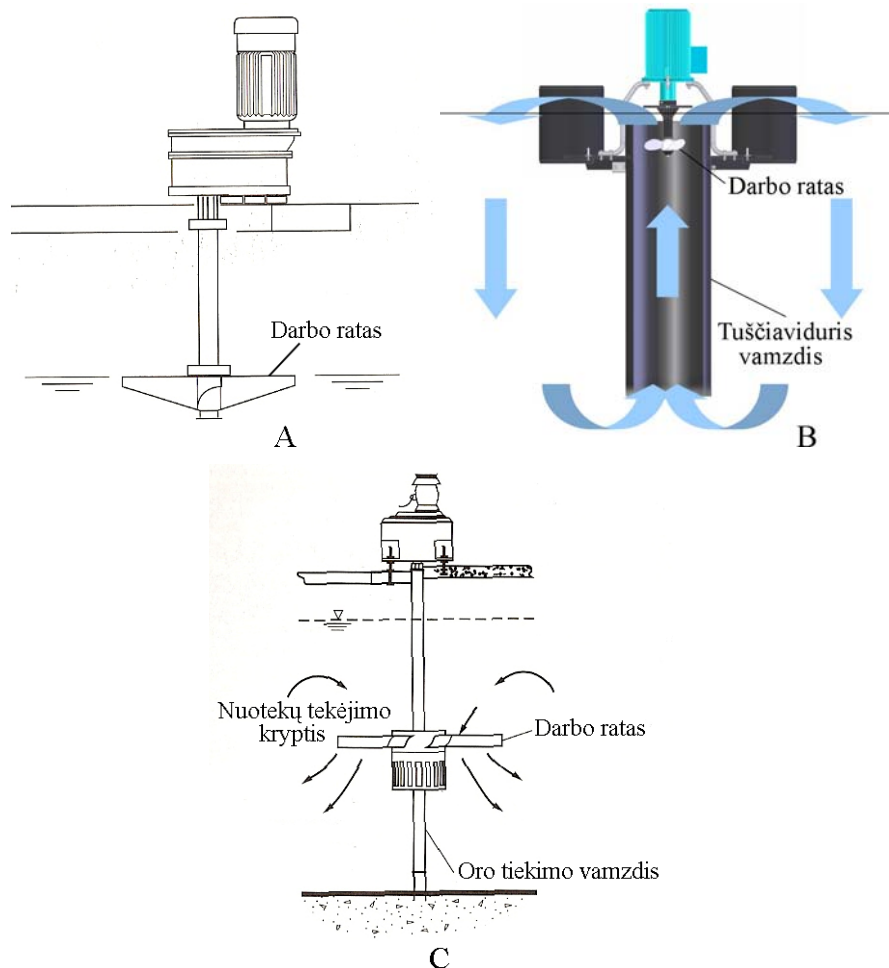
Difuzoriaus tipas	Difuzorių išdėstymas	Oro debitas, m ³ /min	Standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas, %/4,5m
Keraminiai diskai	Viso dugno padengimas	0,01–0,1	25–35
Keraminiai kupolai	Viso dugno padengimas	0,015–0,07	27–37
Lankstūs poringi plastikiniai vamzdiniai difuzoriai	Viso dugno padengimas	0,07–0,11	28–32
	Išilgai dviejų aerotanko sienų	0,08–0,3	17–28
	Išilgai vienos aerotanko sienos	0,06–0,34	13–25
Standūs poringi plastikiniai vamzdiniai difuzoriai	Viso dugno padengimas	0,03–0,2	26–36
	Išilgai vienos aerotanko sienos	0,06–0,2	19–37
Perforuoti membraniniai vamzdiniai difuzoriai	Viso dugno padengimas	0,03–0,11	22–29
	Išilgai vienos aerotanko sienos	0,6–0,17	15–19
Perforuotos membraninės plokštės	Viso dugno padengimas		38–43
Neporingi difuzoriai	Išilgai dviejų aerotanko sienų	0,1–0,28	12–13
	Išilgai aerotanko horizontaliosios centrinės ašies	0,12–1,25	10–13
	Išilgai vienos aerotanko sienos	0,28–1,0	9 – 12

1.4. Mechaniniai aeratoriai

Mechaniniai aeratoriai skirstomi į aeratorius su vertikaliąja ir aeratorius su horizontaliąja ašimi, į panardinamuosius ir paviršinius aeratorius. Paviršinių aeratorių atveju į nuotekas įterpiamas deguonis iš atmosferos, tuo tarpu panardinamųjų aeratorių atveju į nuotekas gali būti įterpiamas deguonis iš atmosferos, taip pat oras arba grynas deguonis gali būti įterpiami į aerotanko dugną. Bet kuriuo atveju atliekamas nuotekų maišymas (Metcalf ir Eddy 2003).

Paviršiniai aeratoriai su vertikaliąja ašimi (1.6 pav., A) susideda iš visiškai arba iš dalies panardinto darbo rato, kuris yra pritvirtintas prie aerotanko viršuje sumontuoto variklio. Darbaratis pakelia nuotekas iš apačios į viršų, tokiu būdu nuotekos intensyviai maišomos, o į jas iš atmosferos patenka deguonis. Jei aerotankas yra gilus, darbaratis gali būti įmontuotas į tuščiaavidurį vamzdį (1.6 pav., B), kuris tęsiasi beveik iki aerotanko dugno ir kuris pagerina nuotekų išmaišymą aerotanke. Pagal darbaračio sukimosi greitį tokio tipo aeratoriai skirstomi į greituosius ir lėtusius.

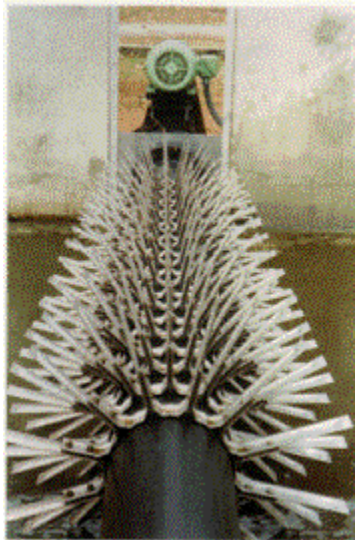
Panardinamųjų aeratorių su vertikaliąja ašimi (1.6 pav., C) atveju oras arba grynas deguonis papildomai gali būti įterpti difuzoriumi žemiau darbo rato, o pats darbo ratas naudojamas išmaišyti nuotekas ir paskleisti oro burbuliukus visame aerotanko tūryje (Casey 1997, Metcalf ir Eddy 2003).



1.6 pav. Mechaniniai aeratoriai su vertikaliąja ašimi: A – paviršiniai, B – paviršiniai su tuščiaviduriu vamzdžiu, C – panardinamieji (Metcalf ir Eddy 2003, Mechanical Aerators... 2009)

Paviršiniai aeratoriai su horizontaliąja ašimi (1.7 pav.) dar vadinami šepetiniais (Brush Aerators). Jų dizainas yra paremtas pirmojo šepetinio Kessenerio aeratoriaus (angl. *Kessener Brush Aerator*), kuris buvo naudojamas nuotekų aeravimui ir cirkuliacijai aerokanaluose. Šie aeratoriai susideda iš virš vandens paviršiaus pritvirtinto horizontalaus cilindro su šeriais. Šeriai yra panardinti į nuotekas, cilindras greitai sukasi, tokiu būdu nuotekos išpurškiamos ore ir deguonis iš oro patenka į jas. Šeriai gaminami iš plieno arba plastiko kampuočių, strypų ir kitų formų (Metcalf ir Eddy 2003).

Panardinamųjų aeratorių su horizontaliaja ašimi veikimo principas yra toks pats kaip ir šepetinių aeratorių, tik vietoj šerių naudojami diskai arba mentės. Tokie aeratoriai dažnai naudojami nuotekų aeravimui aerokanaluose. Apytikriai viena aštuntoji – trys aštuntosios diskų skersmens panardinama į nuotekas, diskai sukami. Diskuose yra grioveliai, į kuriuos patenka oras iš atmosferos, ir kai diskai sukami, šis oras patenka į nuotekas. Priklausomai nuo to, kokie yra reikalavimai oro perdavimo efektyvumui ir nuotekų maišymui, atstumai tarp diskų gali kisti (Metcalf ir Eddy 2003).



1.7 pav. Šepetinis aeratorius (Envirocan Wastewater... 2010)

Prekyboje esančių mechaninių aeratorių standartinis energetinis aeravimo efektyvumas svyruoja nuo 1,2 iki 2,4 kg O₂/kWh (Metcalf ir Eddy 2003). 1.2 lentelėje pateikiamos įvairių mechaninių aeratorių energetinio aeravimo efektyvumo reikšmės.

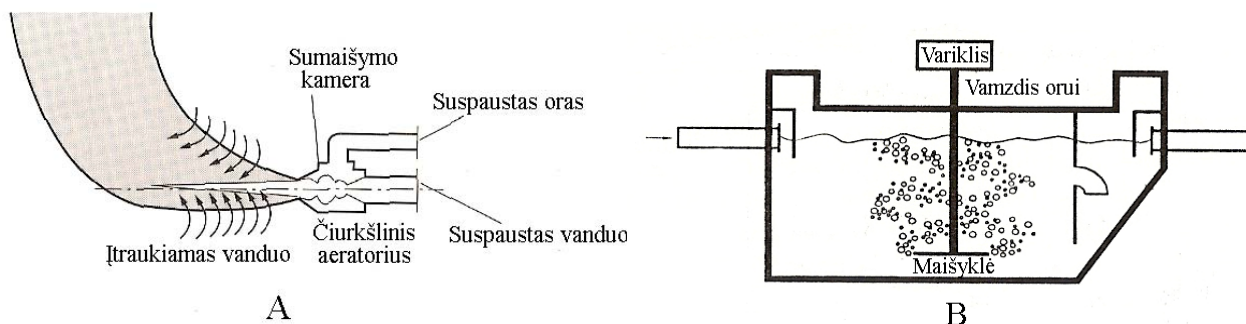
1.2 lentelė. Įvairių mechaninių aeratorių energetinio aeravimo efektyvumo reikšmės (Metcalf ir Eddy 2003)

Aeratoriaus tipas	Energetinis aeravimo efektyvumas, kg O ₂ /kWh	
	Standartinis	Darbo sąlygomis
Lėtasis paviršinis aeratorius su vertikaliąja ašimi	1,5–2,1	0,7–1,5
Greitasis paviršinis aeratorius su vertikaliąja ašimi	1,1–1,4	0,7–1,2
Panardinamas aeratorius su vertikaliąja ašimi	1,1–2,1	
Aeratorius su horizontaliąja ašimi	1,5–2,1	0,5–1,1

1.5. Kiti oro paskleidimo prietaisai

Čiurkšliniai aeratoriai (1.8 pav., A) gerai tinka gilesniems aerotankams (>8 m). Jų veikimo principas pagrįstas tuo, kad suspaustas oras per purkštukus išpurškiamas kartu su nuotekomis, pasiurbtomis iš aerotanko (Metcalf ir Eddy 2003).

Siurbiamajame aeratoriuje (1.8 pav., B) siurblys įtraukia orą per vamzdį ir įpurškia jį į nuotekas, kur dideli greičiai ir maišyklė sukuria turbulenciją ir padeda oro burbuliukams pasklisti nuotekose (Metcalf ir Eddy 2003, Jantrania 2006).



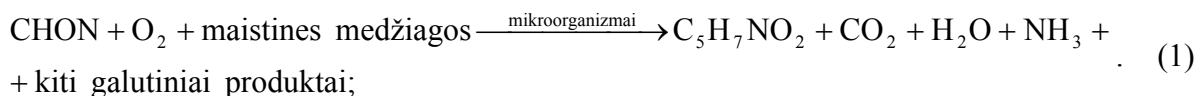
1.8 pav. Kiti oro paskleidimo prietaisai: A – čiurkšlinis aeratorius, B – siurbiamasis aeratorius (Metcalf ir Eddy 2003, Jantrania 2006)

1.6. Procesai, kuriems reikalingas deguonis

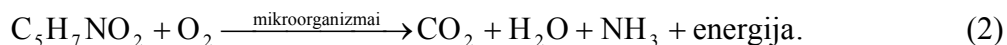
Deguonis nuotekų valyme reikalingas organinių medžiagų oksidacijos ir nitrifikacijos procesams.

Organinių medžiagų šalinimas vykdomas daugelio mikroorganizmų, esančių nuotekose, pagrinde bakterijų. Mikroorganizmai oksiduoja (t. y. paverčia) organines medžiagas į paprastus galutinius produktus tam, kad gautų energijos gyvavimui ir naujų ląstelių sintezei, t. y. biomasės augimui. Kai visi organiniai junginiai suvartojami, mikroorganizmų ląstelės pradeda vartoti savo ląstelių audinį tam, kad gautų energijos gyvavimui. Toks procesas vadinamas endogeniniu kvėpavimu. Organinius teršalus apibūdinant terminu COHNS, o mikroorganizmų ląstelių audinį terminu $C_5H_7NO_2$, kurie apibūdina elementus, įeinančius į organinių teršalų ir mikroorganizmų ląstelių sudėtį (t. y. anglis, vandenilis, deguonis, azotas ir siera), biologinį organinių teršalų šalinimą galima aprašyti sekančiomis lygtimis (Metcalf ir Eddy 2003, Henze *et al.* 1996):

Organinių teršalų oksidacija ir naujų ląstelių sintezė

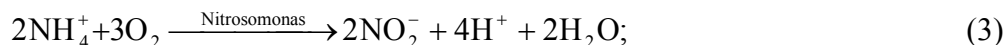


Endogeninis kvėpavimas



Nitrifikacijos procesas vyksta dviem etapais. Pirma, *Nitrosomonas* bakterijos paverčia nuotekose esantį amonį į nitritus, tada *Nitrobacter* bakterijos verčia nitritus į nitratus. Nitrifikacijos proceso lygtys atrodo taip (Metcalf ir Eddy 2003):

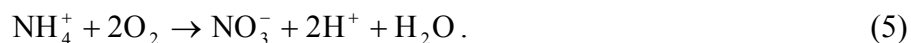
Pirmasis etapas – amonio oksidacija į nitritus



Antrasis etapas – nitritų oksidacija į nitratus



Bendra nitrifikacijos proceso lygtis



Aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas turi užtikrinti mikroorganizmų gyvavimui reikalingą deguonies kiekį ir tuo pačiu metu palaikyti reikiamą deguonies koncentraciją nuotekose. Taupymo sumetimais aerotanke turi būti palaikoma kiek įmanoma mažesnė ištirpusio deguonies koncentracija nuotekose, bet ji turi būti pakankama biologiniams procesams vykti. Paprastai oksiduojant organines medžiagas aerotanke reikia palaikyti 1–2 mg/l deguonies koncentraciją, o ribinė deguonies koncentracija nuotekose šiuo atveju yra 0,5 mg/l. Tuo tarpu jei aerotanke vyksta ir nitrifikacijos procesas, ištirpusio deguonies koncentracija nuotekose turi būti lygi mažiausiai 2 mg/l (Casey 1997).

1.7. Aeravimo sistemų skaičiavimas

1.7.1. Standartinių aeratorių darbo charakteristikų nustatymas

Siekiant nustatyti aeratorių darbo charakteristikas, reikia atlikti deguoninimo bandymus. Deguonies perdavimo bandymai atliekami geriamajame arba pagal kokybę analogiškame vandenyje, šių bandymų metu gautos aeratorių darbo charakteristikos perskaičiuojamos į standartines sąlygas (degauonies koncentracija lygi 0 mg/l, vandens temperatūra lygi 20° C,

atmosferinis slėgis lygus 1013 hPa). Tokiomis sąlygomis nustatyti aeratorių darbo parametrai vadinami standartiniais (Nuotekų valyklos... 2004).

Dažniausiai atliekami absorbcijos bandymai, kurių metu iš pradžių ištirpęs vandenyje deguonis pašalinamas įterpus į vandenį natrio sulfitą Na_2SO_3 arba azoto dujas, tada vanduo aeruojamas tol, kol ištirpusio deguonies koncentracija nenustoja didėti, t. y. pasiekama soties koncentracija (Nuotekų valyklos... 2004).

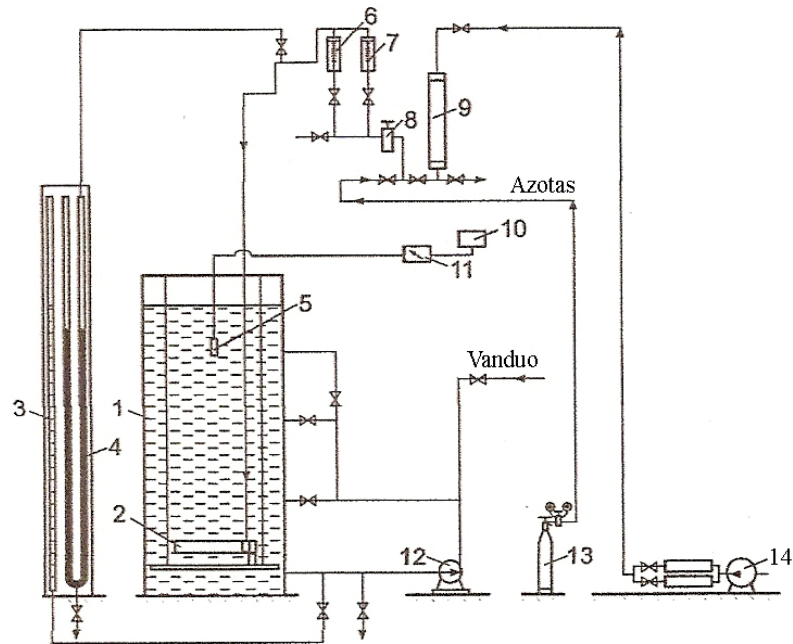
Šalinant iš vandens deguonį įterpiant natrio sulfitą, kaip katalizatorius naudojamas kobalto chloridas, kuris pasižymi neigiamu poveikiu aplinkai ir žmogaus sveikatai. Be to, dideliuose aerotankuose gali kilti problemų dėl netolygaus natrio sulfito paskirstymo. Deguonies šalinimas azoto dujomis yra neekonomiškas, kadangi reikalauja didelių azoto dujų kiekių. Dėl šių priežasčių Darmštato Technologijos universitete Vokietijoje buvo sukurtas naujas deguonies perdavimo nustatymo būdas – desorbicijos metodas. Taikant šį būdą, į vandenį įterpiama tiek gryno deguonies, kad deguonies koncentracija vandenyje pakiltų virš soties koncentracijos (koncentracijų skirtumas turi būti ne mažesnis negu 6 mg/l), tada vanduo yra aeruojamas, o aeravimo metu deguonies koncentracija mažėja. Aeravimas tęsiamas tol, kol bus pasiekta soties koncentracija (Cobalt Chloride... 2010, Wagner *et al.* 1998).

Tiek absorbcijos, tiek desorbicijos bandymų metu lygiais laiko intervalais matuojama ištirpusio deguonies koncentracija. Iš šių duomenų tiesinės arba netiesinės regresijos būdu yra nustatomas deguonies perdavimo koeficientas k_{La} ir soties koncentracija $C_{s,p,t}$ (Nuotekų valyklos... 2004).

Desorbicijos metodas yra tikslesnis negu absorbcijos su natrio sulfitu metodas, absorbcijos bandymų metu dėl padidėjusio druskų kiekio vandenyje gaunamos 3–5 % didesnės oksidacinio pajėgumo reikšmės negu desorbicijos bandymu metu. Be to, šis metodas yra pigesnis negu absorbcijos su natrio sulfitu metodas (Wagner *et al.* 1998).

Дорошев ir Лосъ (2000) sukūrė bandymų stendą, skirtą difuzorių standartiniams darbo parametrams nustatyti (1.9 pav.). Bandymo stendo svarbiausia dalis yra bandymų reaktorius 1, kurio skersmuo lygus 0,8 m, o aukštis – 1,0 m. Jame įrengti langai, pro kuriuos galima stebėti difuzoriaus darbą. Oras į difuzorių 2 tiekiamas orapūte 14, tiekiamo oro kiekiui reguliuoti ant tiekimo vamzdžio įrengtas reduktorius 8. Ant oro tiekimo vamzdžio taip pat yra sumontuotas filtras 9, kuris sulaiko drėgmę ir tiekiamo oro nešvarumus. Oras iš vandens gali būti šalinamas azoto dujomis, kurios laikomos balione 13, arba reagentais. Nuotekų ir reagentų sumaišymas

vykdomas cirkuliaciniu siurbliu 12, o azoto tiekimas vykdomas tiekiant jį i rezervuarą per difuzorių. Debitas matuojamas debitomačiais 6 ir 7, o ištirpusio deguonies koncentracija – deguonies matuokliu 11 su elektrodu 5. Deguonies matuoklio rodmenys perduodami į kompiuterį 10. Slėgis matuojamas U-formos manometru 4, o vandens lygis rezervuare – liniuote 3.

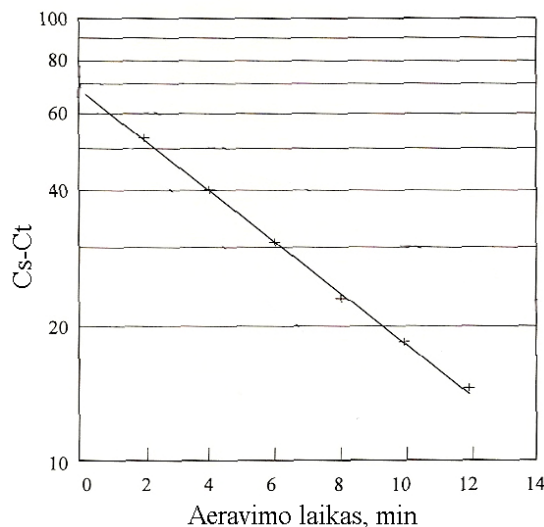


1.9 pav. Bandymų stendas, skirtas difuzorių standartiniams darbo parametrams nustatyti (Дорошев ir Лось 2000)

Reikia pastebėti, kad panardinamųjų difuzorių atveju soties koncentracija, pasiekta bandymų metu (t. y. dirbtinai aeruojant vandenį), dažnai būna didesnė negu soties koncentracija vandens, kuris nebuvo aerotas, bet kuris yra pusiausvyroje su atmosferos oru. Šis skirtumas priklauso nuo difuzoriaus panardinimo gylio. Tuo tarpu paviršinių aeratorių atveju šios koncentracijos yra sulyginamos (Casey 1997).

Deguonies perdavimo koeficientas $k_L a$ gali būti nustatomas dvejopai.

Paprasčiausias būdas yra nustatyti deguonies perdavimo koeficientą iš pusiau-logaritminio grafiko. Jei koordinačių sistemoje ant x ašies bus atidėtas laikas t , o ant y ašies – deguonies koncentracijų skirtumo ($C_s - C_t$) natūrinis logaritmas (čia C_s – deguonies soties koncentracija, C_t – laiko momentu t išmatuota deguonies koncentracija), tai bus gauta kreivė, pavaizduota 1.10 pav. Deguonies perdavimo koeficientas $k_L a$ yra lygus šios kreivės nuolydžiui (Casey 1997).



1.10 pav. Deguonies perdavimo koeficiento nustatymas (Casey 1997)

Deguonies perdavimo koeficientas taip pat gali būti nustatytas pasinaudojant netiesinės regresijos lygtimi:

$$C_t = C_s - (C_s - C_0) \cdot \exp(-k_L a \cdot t). \quad (6)$$

Į šią lygtį įstačius bandymų metu tam tikrais laiko intervalais t matuotas ištirpusio deguonies koncentracijas C_t , randamos šiai lygčiai geriausiai tinkančios soties koncentracijos C_s , pradinės deguonies koncentracijos C_0 ir deguonies perdavimo koeficiento $k_L a$ reikšmės. Šis metodas yra tikslesnis už pirmąjį, kadangi šiuo atveju randamos geriausiai atitinkančios bandymų rezultatus reikšmės. Bandymų soties koncentracija šiuo atveju yra apskaičiuojama netiesinės regresijos būdu, o ne imama iš lentelių. Panardinamų difuzorių atveju tai yra svarbu, kadangi, kaip jau buvo minėta, difuzorių atveju soties koncentracija, pasiekta bandymų metu, dažnai būna didesnė negu soties koncentracija vandens, kuris nebuvo aeruotas, ir tai priklauso nuo aeravimo sistemos konfigūracijos (Casey 1997).

Pasinaudojant šiais ir kitais bandymų metu gautais duomenimis galima apskaičiuoti tokias standartinės aeratorių darbo charakteristikas (t. y. nustatytas švariame vandenyje ir perskaičiuotas į standartinės sąlygas: deguonies koncentracija lygi 0 mg/l, vandens temperatūra lygi 20° C, atmosferinis slėgis lygus 1013 hPa):

- 1) standartinis oksidacinis pajėgumas (angl. *Standard Oxygen Transfer Rate*);
- 2) standartinis deguonies ištirpinimo/perdavimo efektyvumas (angl. *Specific Standard Oxygen Transfer Efficiency*);

3) standartinis energetinis aeravimo efektyvumas (angl. *Standard Aeration Efficiency*) (Nuotekų valyklos... 2004).

Standartinis oksidacinis pajėgumas SOP yra deguonies kiekis, patiektas per vieną valandą į rezervuarą, pripildytą švaraus vandens, esant standartinėms sąlygoms. SOP kiekvienam oro debitui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SOP = V \cdot k_L a_{20} \cdot C_{S,20}, \text{ g O}_2/\text{h}; \quad (7)$$

čia: V – vandens tūris įrenginyje, m^3 ;

$k_L a_{20}$ – deguonies perdavimo koeficientas, perskaičiuotas į standartines sąlygas, $1/\text{h}$;

$C_{S,20}$ – bandymų vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, perskaičiuota į standartines sąlygas, mg/l (Nuotekų valyklos... 2004).

Standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas SDIE parodo, kiek procentų nuo patiekto deguonies yra ištirpinama vandenyje per vieną aeratoriaus panardinimo gylio metrą. SDIE apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SDIE = \frac{SOP}{10 \cdot h_D \cdot Q \cdot 0,299}, \text{ \%}/\text{m}; \quad (8)$$

čia: h_D – aeratoriaus panardinimo gylis, m ;

Q – tiekiamas oro debitas, m^3/h (Nuotekų valyklos... 2004).

Standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas gali būti išreikštas ir kitaip:

$$SDIE = \frac{SOP}{10 \cdot h_D \cdot Q}, \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}). \quad (9)$$

Standartinis energetinis aeravimo efektyvumas SEAE lygus santykiui tarp oksidacinio pajėgumo ir bendros aeravimo sistemos galios:

$$SEAE = \frac{SOP}{1000 \cdot P}, \text{ kg}/\text{kWh}; \quad (10)$$

čia: P – aeravimo sistemos bendra galia, kW (Nuotekų valyklos... 2004).

1.7.2. Aeratoriaus darbo charakteristikų perskaičiavimas į tikrąsias sąlygas

Aeratorių darbas tiriamas švariame vandenyje, tačiau aeruojant nuotekas aeratoriaus darbo efektyvumas bus blogesnis negu aeruojant švarų vandenį, kadangi nuotekose gali būti įvairių priemaišų, aerotanko geometrija gali būti kitokia negu tyrimams naudoto rezervuaro ir t.t.

Padauginus aeravimo sistemos standartinius darbo parametrus iš įvairių pataisos koeficientų, gali būti nustatyti aeratoriaus darbo parametrai, esant tikrosioms sąlygoms. Padalinus deguonies poreikį biologiniams procesams iš šių pataisos koeficientų, taip pat galima sužinoti, kokis turi būti aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas švariame vandenyje, kad ji patiektų biologiniams procesams reikiamą deguonies kiekį tikrosiomis sąlygomis (Metcalf ir Eddy 2003).

Temperatūros įtaka deguonies perdavimui įvertinama pasinaudojant Arrheniuso lygtimi:

$$k_L a_T = k_L a_{20} \cdot \theta^{T-20}, \quad (11)$$

čia: $k_L a_T$ – deguonies perdavimo koeficientas esant vandens temperatūrai T , 1/h;

$k_L a_{20}$ – deguonies perdavimo koeficientas esant 20° vandens temperatūrai, 1/h;

θ – temperatūros įtaką įvertinantis koeficientas;

T – vandens temperatūra, $^\circ\text{C}$.

θ koeficiento reikšmė priklauso nuo tyrimų metu buvusių sąlygų. Paprastai θ koeficiento reikšmės patenka į 1,015–1,040 intervalą. Dažniausiai naudojama 1,024 koeficiento reikšmė, kuri tinka kaip difuzoriams, taip ir mechaniniams aeratoriams (Metcalf ir Eddy 2003).

Reikia pastebėti, kad temperatūra oksidaciniam pajėgumui didelės įtakos neturi, kadangi jai didėjant didėja ir deguonies perdavimo koeficientas, bet tuo pat metu soties koncentracija mažėja. Pvz., Casey (1997) nurodo, kad temperatūrai padidėjus nuo 0°C iki 20°C deguonies perdavimo koeficientas $k_L a$ padidėja 48%, tuo tarpu oksidacinis pajėgumas sumažėja tik 8%.

α koeficientas naudojamas norint įvertinti skirtumą tarp deguonies perdavimo koeficiento nuotekose ir švariame vandenyje:

$$\alpha = \frac{k_L a(\text{nuotekų})}{k_L a(\text{geriamojo vandens})}. \quad (12)$$

Iki 1980 metų visi nuotekų valymo įrenginiai JAV buvo projektuojami priimant, kad α koeficientas lygus 0,8 nepriklausomai nuo to, kokia aeravimo sistema buvo naudojama. Tačiau vėliau paaiškėjo, kad α koeficiento reikšmė priklauso nuo aeravimo sistemos tipo: naudojant difuzorius, α koeficientas paprastai lygus 0,4–0,8, naudojant mechaninius aeratorius – 0,6–1,2. Aeruojant buitines nuotekas lėtaisiais paviršiniais mechaniniais aeratoriais, α koeficientas paprastai priimamas lygus 0,98 (Metcalf ir Eddy 2003, Rosso ir Stenstrom 2006).

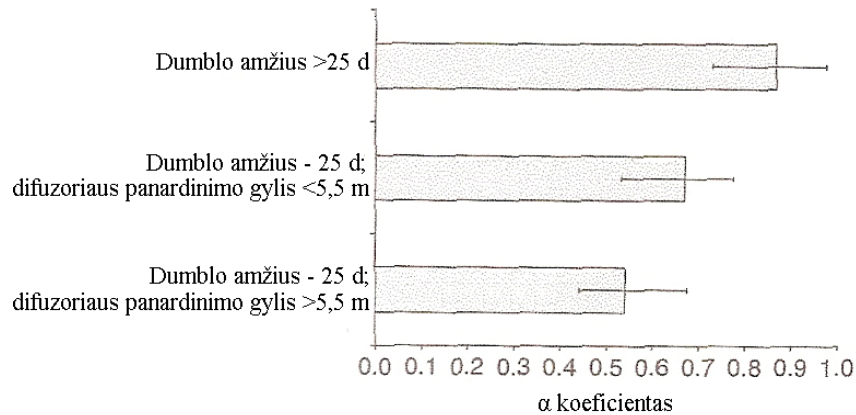
β koeficientas naudojamas norint įvertinti skirtumą tarp deguonies soties koncentracijos nuotekose ir švariame vandenyje:

$$\beta = \frac{C_s(\text{nuotekų})}{C_s(\text{geriamojo vandens})} \quad (13)$$

Skaičiuojant oksidacinį pajėgumą ir deguonies ištirpinimo efektyvumą, β koeficientas gali būti lygus 0,7–0,98. Paprastai naudojama 0,95 reikšmė (Metcalf ir Eddy 2003).

Skirtumas tarp deguonies perdavimo koeficientų ir soties koncentracijų švariame vandenyje ir nuotekose susidaro dėl maišymo intensyvumo, aerotanko geometrijos, aeratoriaus tipo, nuotekų sudėties, druskų, kietų ir paviršių aktyvinančių medžiagų būvimo nuotekose. Pvz., skendinčios medžiagos didina nuotekų klampą, dėl to mažėja turbulenciją, o tai turi neigiamos įtakos deguonies perdavimui. Paviršių aktyvinančios medžiagos (tokios kaip nafta, aliejus, muilas, įvairios valymo priemonės) padidina oro burbuliukų skersmenį, dėl to padidėja oro ir nuotekų sąveikos plotas. Tačiau, kita vertus, paviršių aktyvinančios medžiagos linkusios prisijungti prie oro burbuliukų paviršiaus, suformuoti ant jų plėvelę ir tokiu būdu sudaryti kliūtį deguonies perdavimui. Toks reiškinys labiau būdingas aeruojant nuotekas difuzoriais, kadangi šiuo atveju oro burbuliukų būvimo nuotekose laikas yra ilgesnis ir jis yra pakankamas plėvelei iš paviršių aktyvinančių medžiagų susidaryti. Kai laiko tokiai plėvelei susidaryti nėra, paviršių aktyvinančios medžiagos gali teigiamai veikti deguonies perdavimą ir tokiu atveju α koeficientas gali būti didesnis už vienetą. Tokiu atveju deguonies perdavimas nuotekose vyks geriau negu švariame vandenyje (Casey 1997).

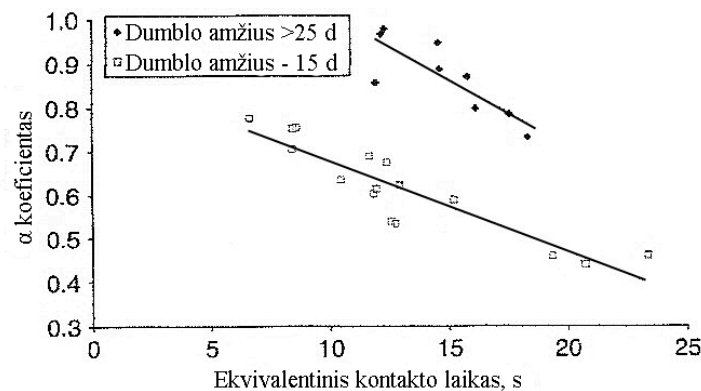
Pagrindinis faktorius, darantys įtaką smulkiaburbulės aeravimo sistemos α koeficiento dydžiui, yra dumblo amžius (arba veikliojo dumblo apkrova). Iš 1.11 pav. matyti kad ilgėjant dumblo amžiui, α koeficientas didėja, dėl ko gerėja ir deguonies perdavimo efektyvumas. Taip yra dėl to, kad sistemose su ilgesniu dumblo amžiumi paviršių aktyvinančios medžiagos yra greitai pašalinamos ir jos nesudaro plėvelės ant oro burbuliukų (Gillot ir Heduit 2008, Rosso *et al.* 2008).



1.11 pav. α koeficiento priklausomybė nuo dumblo amžiaus ir difuzoriaus panardinimo gylio (Gillot ir Heduit 2008)

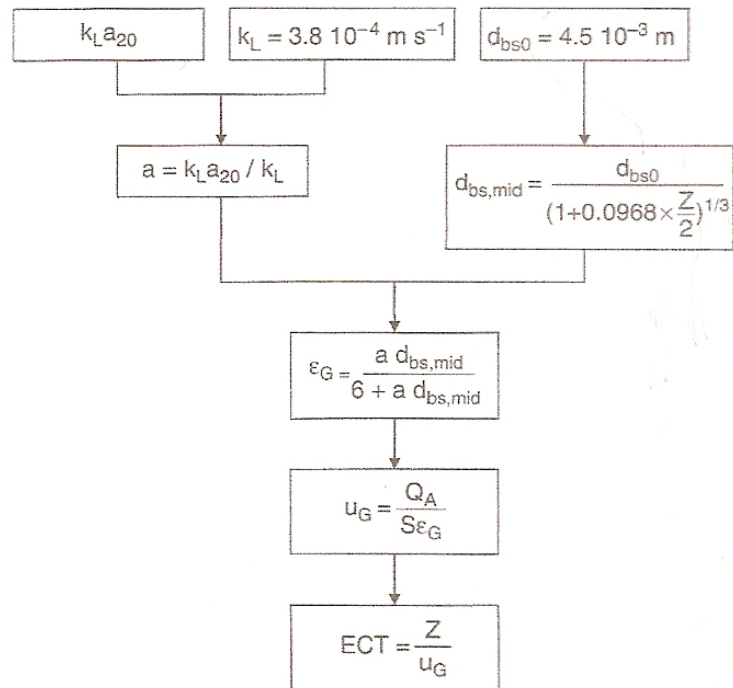
Be to, α koeficientui turi įtakos ir difuzoriaus panardinimo gylis: esant mažesniai negu 5,5 m panardinimo gyliui, vidutinė α koeficiento reikšmė lygi 0,67; o kai panardinimo gylis yra didesnis negu 5,5 m, α koeficiento reikšmė sumažėja iki 0,54. Tai paaiškinama tuo, kad kuo didesnis yra panardinimo gylis, tuo ilgesnis yra nuotekų ir oro burbuliukų kontakto laikas, per kurį oro burbuliukai pasidengia plėvele iš paviršių aktyvinančių medžiagų, ir tokiu būdu deguonies perdavimas prastėja (Gillot ir Heduit 2008).

Gillot ir Heduit (2008) pasiūlė naują α koeficiento įvertinimo būdą. Remiantis keturiolikoje nuotekų valyklų atliktų tyrimų duomenimis, jie pateikė kreivę (1.12 pav.), kuri parodo priklausomybę tarp α koeficiento ir autorių apibrėžto naujo kintamojo – ekvivalentinio kontakto laiko (angl. *Equivalent Contact Time*). Ekvivalentinis kontakto laikas įvertina visus faktorius, kurie turi įtakos deguonies perdavimui (oro debitą, difuzoriaus panardinimo gylį ir kt.). Jį galima apskaičiuoti žinant difuzoriaus deguonies perdavimo koeficientą geriamajame vandenyje ir tiekiamo oro debitą.



1.12 pav. α koeficiento priklausomybė nuo ekvivalentinio kontakto laiko (Gillot ir Heduit 2008)

Ekvivalentinio kontakto laiko skaičiavimo eiga pateikta 1.13 pav.



1.13 pav. Ekvivalentinio kontakto laiko skaičiavimas: d_{bs0} – oro burbuliuko skersmuo esant atmosferiniam slėgiui, m; $d_{bs,mid}$ – oro burbuliukų skersmuo difuzoriaus panardinimo gylyje, padalintame per pusę, m; Z – difuzoriaus panardinimo gylis, m; $k_L a$ – deguonies perdavimo koeficientas, 1/s; a – specifinis oro ir vandens sąlyčio plotas, m^2/m^3 ; k_L – deguonies perdavimo koeficientas, m/s; ϵ_G – deguonies sulaikymas (santykinis oro kiekis vandenyje); u_G – oro greitis, m/s; Q_A – tiekiamo oro debitas, m^3/s ; S – aeruojamas plotas, m^2 (Gillot ir Heduit 2008)

Apskaičiavus ekvivalentinį kontakto laiką ir žinant dumblo amžių aerotanke, iš 1.12 paveikslo galima surasti α koeficiento reikšmę.

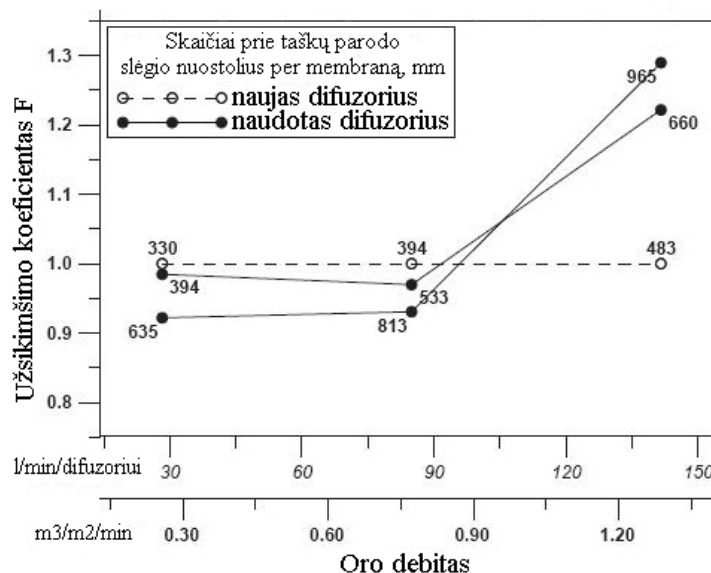
Bėgant laikui difuzoriaus deguonies perdavimo efektyvumas taip pat gali sumažėti dėl difuzoriaus užsikimšimo arba susidėvėjimo. Po tam tikro difuzoriaus eksploatavimo laiko jo paviršius ir angos jame pasidengia biologine plėvele; ant jo nusėda neorganinės druskos, tokios kaip kalcio karbonatas, kalcio sulfatas ir kt. Taip pat difuzorius užsikemša iš vidaus dėl tiekiamo oro nešvarumų. Membraninio difuzoriaus atveju membranos medžiaga gali pakeisti savo savybes (pvz., sukietėti arba suminkštėti). Membranos savybės gali pasikeisti dėl įvairių priežasčių: pvz., membrana praranda elastingumą dėl to, kad mikroorganizmai suvalgo joje esančius plastifikatorius, tuo tarpu suminkštėti membrana gali dėl tam tikrų medžiagų absorbavimo iš nuotekų. Membranai pasidengus biologiniu sluoksniu plastifikatorių sumažėjimas įvyksta tada, kai prie membranos prisitvirtinę mikroorganizmai netenka maistinių medžiagų šaltinio. Tada jie

praėjus tam tikram adaptacijos laikui pradeda vartoti membranoje esančius plastifikatorius, kadangi plastifikatoriai daugiausia sudaryti iš organinių medžiagų. Šiai problemai išvengti neseniai buvo pasiūlyta naudoti silikonines membranas, kurių savybėms pagerinti nereikia naudoti papildomų medžiagų, tokių kaip plastifikatoriai (Kaliman *et al.* 2008, Wagner ir Hoessle 2004).

Rosso *et al.* (2008a) nurodo, kad difuzorių aeravimo efektyvumas bėgant laikui palaipsniui mažėja, o didžiausias sumažėjimas įvyksta per pirmus 24 mėnesius aeravimo sistemos veikimo.

Difuzoriaus užsikimšimo poveikis deguonies perdavimo efektyvumui yra nusakomas koeficientu F , kuris yra lygus naudoto ir naujo difuzorių deguonies ištirpinimo efektyvumų santykiui. Jis paprastai lygus 0,65–0,9 (Metcalf ir Eddy 2003).

1.14 paveiksle pavaizduota naujų ir naudotų difuzorių užsikimšimo koeficiento priklausomybė nuo tiekiamo oro debito. Naujų difuzorių užsikimšimo koeficientas lygus vienetui nepriklausomai nuo tiekiamo oro debito. Tuo tarpu naudotų difuzorių užsikimšimo koeficientas yra mažesnis negu naujų difuzorių esant nedideliems debitams. Tačiau kai tiekiamas oro debitas vienam difuzoriui yra didesnis negu 100 l/min, naudotų difuzorių užsikimšimo koeficientas yra didesnis už vienetą, t. y. jie gali pasiekti didesnes (apie 20 %) deguonies perdavimo efektyvumo reikšmes negu nauji difuzoriai. Taip atsitinka dėl to, kad naudotos membranos sukieta, angos jose didinant tiekiamo oro debitą nedidėja, todėl jos gamina smulkius oro burbuliukus. Tačiau tuo pat metu dėl membranos sukietėjimo slėgio nuostoliai per membraną padidėja, dėl to išauga tokios aeravimo sistemos eksploatavimo kaštai (Rosso *et al.* 2008b).



1.14 pav. Naujų ir naudotų difuzorių užsikimšimo koeficiento priklausomybė nuo tiekiamo oro debito (Rosso *et al.* 2008b)

Norint sužinoti, koks yra faktinis aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas, reikia tyrimų metu gautą standartinio oksidacinio pajėgumo reikšmę padauginti iš visų pataisos koeficientų:

$$FOP = SOP \cdot \left(\frac{\beta \cdot C_{s,T,H}^* - C_L}{C_{s,20}} \right) \cdot (1,024^{T-20}) \cdot \alpha \cdot F, \text{ kg O}_2/\text{h}; \quad (14)$$

čia: SOP – standartinis oksidacinis pajėgumas, gautas tyrimų metu, kg O₂/h;

β – deguonies soties koncentracijos pataisos koeficientas nuotekoms;

T – nuotekų temperatūra, ° C;

$C_{s,T,H}^*$ – vidutinė deguonies soties koncentracija švariame vandenyje aerotanke esant nuotekų temperatūrai T ir altitutei H, mg/l;

C_L – darbinė deguonies koncentracija, mg/l;

$C_{s,20}$ – deguonies soties koncentracija švariame vandenyje esant 20° C vandens temperatūrai ir 1 atmosferos slėgiui, mg/l ($C_{s,20} = 9,08$ mg/l);

α – deguonies perdavimo koeficiento pataisos koeficientas nuotekoms;

F – koeficientas, įvertinantis difuzoriaus užsikimšimą bėgant laikui (Metcalf ir Eddy 2003).

Vidutinė deguonies soties koncentracija švariame vandenyje aerotanke esant nuotekų temperatūrai T ir altitutei H $C_{s,t,H}^*$ apskaičiuojama pagal formulę:

$$C_{s,T,H}^* = C_{s,T,H} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P_d}{P_{atm,H}} + \frac{O_T}{21} \right), \text{ mg/l}; \quad (15)$$

čia: $C_{s,T,H}$ – deguonies soties koncentracija švariame vandenyje esant nuotekų temperatūrai T ir altitutei H, mg/l;

P_d – slėgis gylyje, kuriame yra išleidžiamas oras, kPa;

$P_{atm,H}$ – atmosferos slėgis H altitudėje, kPa;

O_T – procentas deguonies, pasišalinantis iš aerotanko, %. Paprastai iš aerotanko pasišalina 18–20 % deguonies.

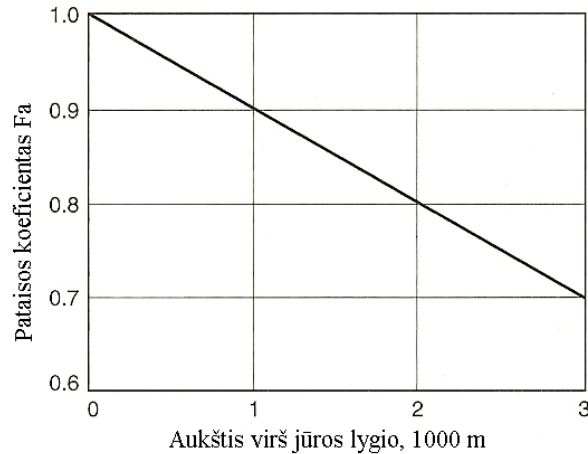
Paviršinių aeratorių atveju vidutinė deguonies soties koncentracija švariame vandenyje aerotanke esant nuotekų temperatūrai T ir altitutei H $C_{s,t,H}^*$ lygi deguonies soties koncentracijai švariame vandenyje esant nuotekų temperatūrai T ir altitutei H $C_{s,t,H}$ (Metcalf ir Eddy 2003).

Deguonies soties koncentracija geriamajame vandenyje esant tam tikrai vandens temperatūrai ir tam tikrai altitutei $C_{s,T,H}$ apskaičiuojama taip:

$$C_{s,T,H} = C_{s,juros \text{ lygyje}} \cdot F_a, \text{ mg/l}; \quad (16)$$

Čia: $C_{s,jūros}$ lygyje – deguonies soties koncentracija geriamajame vandenyje esant tam tikrai vandens temperatūrai jūros lygyje, mg/l;

F_a – pataisos koeficientas, nustatomas iš 1.15 pav.



1.15 pav. Pataisos koeficientas, įvertinantis deguonies tirpumo skirtumą skirtinguose aukščiuose (Metcalf ir Eddy 2003)

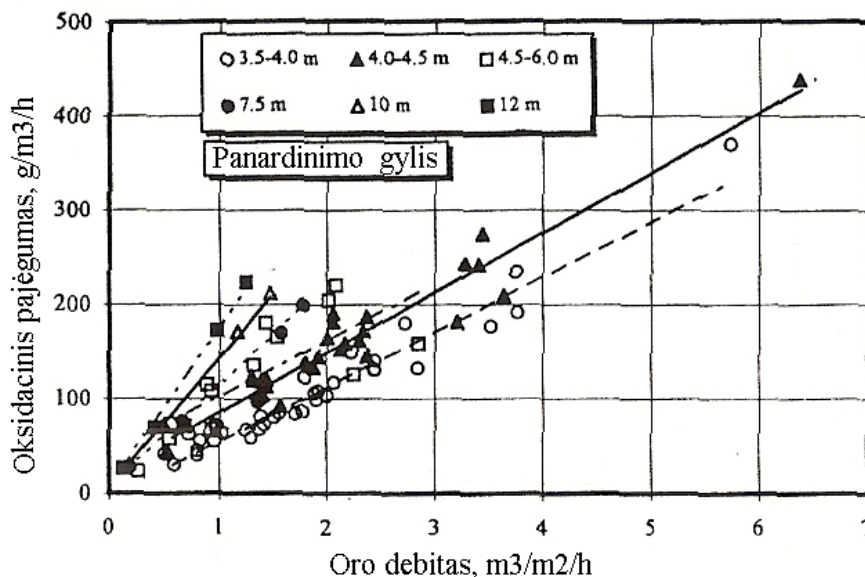
Pasinaudojant (14) formulę, taip pat galima apskaičiuoti ir faktinį deguonies ištirpinimo efektyvumą bet energetinį aeravimo efektyvumą. Tam vietoj standartinio oksidacinio pajėgumo reikšmės į formulę reikia įrašyti standartinio ištirpinimo efektyvumo arba standartinio energetinio aeravimo efektyvumo reikšmę.

1.7.3. Veiksniai, turintys įtakos difuzorių darbo charakteristikoms

Difuzorių darbas priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip difuzoriaus tipas, dydis, forma, tiekiamo oro debitas, difuzoriaus panardinimo gylis, aerotanko geometrija ir difuzoriaus būvimo vieta, nuotekų charakteristikos, dumblo amžius, difuzoriaus būklė.

Deguonies perdavimo koeficientas k_{La} yra tiesiogiai proporcingas tiekiamo oro debitui ir difuzorių skaičiui bei atvirkščiai proporcingas difuzorių panardinimo gyliui. Lyginant dvi sistemas su vienodu difuzorių skaičiumi, deguonies perdavimo koeficientas bus didesnis tos sistemos, kurios aeruojamas plotas yra didesnis. Be to, deguonies perdavimo koeficientas yra didesnis, kai difuzoriai padengia visą aerotanko dugną, nepriklausomai nuo to, koks yra difuzorių išdėstymo tankis, negu kai jie išdėstomi viena arba keliomis eilėmis išilgai aerotanko sienų (Capela *et al.* 2001, Gillot *et al.* 2005).

Difuzoriaus oksidacinis pajėgumas yra tiesiogiai proporcingas tiekiamam oro debitui ir difuzoriaus panardinimo gyliui. Iš 1.16 pav. matyti, kad kuo tiekiamas oro debitas ir panardinimo gylis yra didesni, tuo oksidacinis pajėgumas yra didesnis.



1.16 pav. Oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo tiekiamo oro debito ir difuzoriaus panardinimo gylio (Wagner ir Popel 1998)

Jing *et al.* (2009) tyrė birios plastikinės tuščiavidurės įkrovos įtaką deguonies perdavimui reaktoriuje su judančiu laikmeniu (angl. *Moving Bed Biological Reactor*) ir nustatė, kad reaktoriuje su įkrova deguonies perdavimo koeficientas ir standartinis oksidacinis pajėgumas buvo geresni negu nesant įkrovos, o geriausi rezultatai pasiekti (dvigubai didesnis oksidacinis pajėgumas), kai įkrova užima 40 % reaktoriaus tūrio. Autoriai aiškina tai dvejopai. Pirma, oro burbuliukai keliaudami per įkrovoje esančius kanalus skyla į mažesnius burbuliukus, burbuliukų paviršiaus plotas padidėja, o dėl to padidėja ir oksidacinis pajėgumas. Antra, dėl aeravimo įkrova yra išjudinama ir turbulencija pagreitina oro ir nuotekų sąveiką. Tačiau, kai įkrova užima daugiau negu 40 % reaktoriaus tūrio, jai jau yra sunku judėti aerotanke, dėl to turbulencija ir savo ruožtu oksidacinis pajėgumas sumažėja.

Deguonies ištirpinimo efektyvumas yra tiesiogiai proporcingas dumblo amžiui ir difuzorių skaičiui bei atvirkščiai proporcingas per vieną difuzorių tiekiamo oro debitui ir difuzoriaus panardinimo gyliui (Deronzier *et al.* 1998, Rosso *et al.* 2008a, Wagner ir Popel 1998).

Smulkiaburbulių difuzorių standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas siekia 4–6 %/m, kai difuzoriaus panardinimo gylis lygus 6–10 m; tuo tarpu stambiaburbulių aeratorių standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas yra maždaug dvigubai mažesnis (Casey 1997).

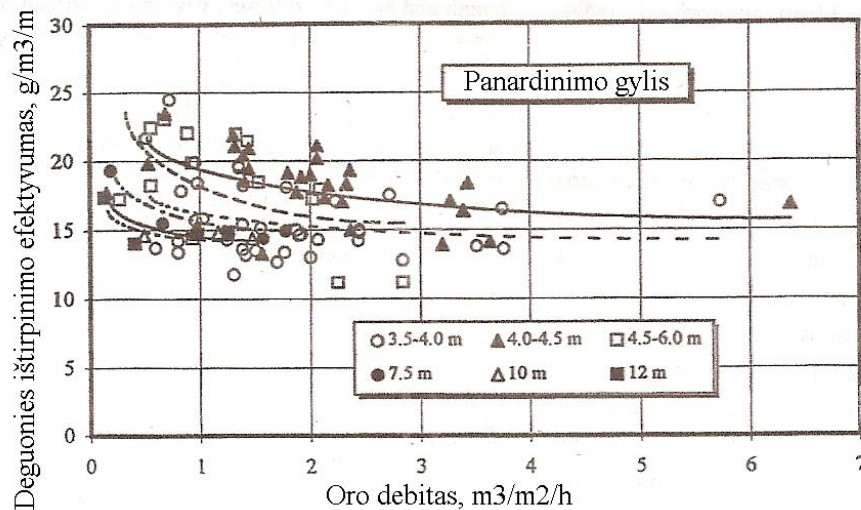
Sistemose su trumpu dumblo amžiumi veikliojo dumblo koncentracija yra mažesnė negu sistemose su ilgesniu dumblo amžiumi, todėl jose ištirpę teršalai (o būtent – paviršių aktyvinančios medžiagos) negali būti pašalinti taip greitai kaip sistemose su ilgesniu dumblo amžiumi, kuriose paviršių aktyvinančios medžiagos yra greitai pašalinamos ir jos nesudaro plėvelės ant oro burbuliukų, todėl tokių sistemų deguonies ištirpinimo efektyvumas yra didesnis negu sistemų su trumpu dumblo amžiumi. Kita vertus, kuo ilgesnis yra dumblo amžius, tuo didesnis yra deguonies poreikis, tačiau ir įvertinus šį faktą, tokių sistemų deguonies ištirpinimo efektyvumas yra didesnis (Rosso *et al.* 2008a).

Paviršių aktyvinančios medžiagos įeina į lengvai biologiškai skaidomų organinių teršalų sudėtį. Jei kartu su organinių teršalų šalinimu veikliojo dumblo rezervuare vyksta ir denitrifikacijos procesas, deguonies poreikis bus mažesnis, kadangi dalis lengvai biologiškai skaidomų organinių teršalų yra pašalinama denitrifikacijos zonoje, todėl šios organinių teršalų dalies oksiduoti aerotanke jau nereikia. Be to, tai sumažina galimybę paviršių aktyvinančioms medžiagoms akumuliuotis ant oro burbuliukų (Rosso *et al.* 2008a).

Kuo didesnis tiekiamo oro debitas, tenkantis vienam difuzoriui, tuo didesni gaminami oro burbuliukai. Dėl to sumažėja oro burbuliukų paviršiaus ploto ir tūrio santykis, burbuliukų kilimo greitis padidėja ir burbuliukų išbūvimo laikas aerotanke sumažėja. Tuo pat metu didinant oro debitą, suintensyvėja vertikalus nuotekų judėjimas, o tai irgi sumažina oro burbuliukų ir nuotekų kontakto laiką. Tokiu būdu deguonies ištirpinimo efektyvumas sumažėja (Deronzier *et al.* 1998, Rosso *et al.* 2008a).

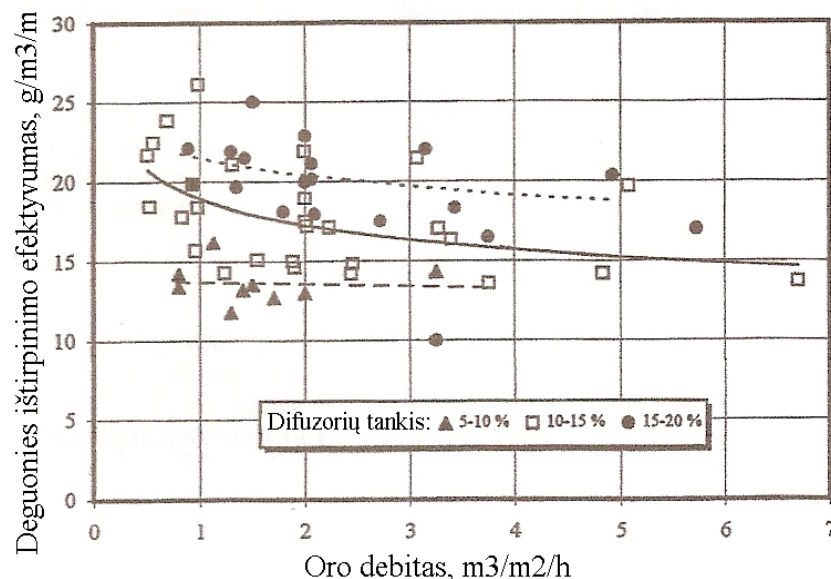
Deguonies ištirpinimo efektyvumas taip pat yra atvirkščiai proporcingas difuzoriaus panardinimo gyliui. Tai paaiškinama tuo, kad kuo didesnis yra panardinimo gylis, tuo ilgesnis yra nuotekų ir oro burbuliukų kontakto laikas, per kurį oro burbuliukai pasidengia plėvele iš paviršių aktyvinančių medžiagų, ir tokiu būdu deguonies perdavimas prastėja (Gillot ir Hedit 2008).

1.17 paveiksle pavaizduota deguonies perdavimo efektyvumo priklausomybė nuo tiekiamo oro debito ir difuzoriaus panardinimo gylio.



1.17 pav. Deguonies perdavimo efektyvumo priklausomybė nuo tiekiamo oro debito ir difuzoriaus panardinimo gylio (Wagner ir Popel 1998)

Deguonies perdavimo efektyvumas priklauso ir nuo difuzorių išdėstymo tankio: kuo didesnis yra išdėstymo tankis, tuo deguonies perdavimo efektyvumas yra didesnis (1.18 pav.) Difuzorių išdėstymo tankis lygus perforuoto difuzoriaus ploto ir aerotanko paviršiaus ploto procentiniam santykiui (Guilot *et al.* 2005).

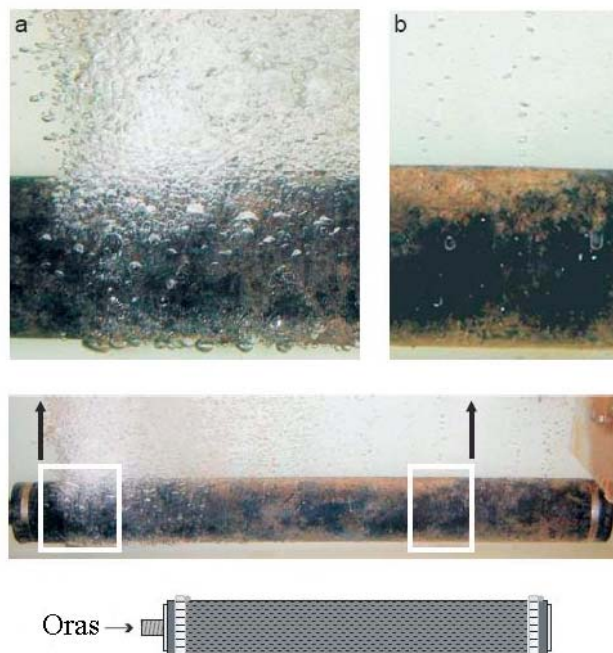


1.18 pav. Deguonies perdavimo efektyvumo priklausomybė nuo difuzorių išdėstymo tankio (Wagner ir Popel 1998)

Įvertinant šių veiksnių įtaką deguonies perdavimo efektyvumui, galima padaryti išvadą, kad didelį deguonies perdavimo efektyvumą galima pasiekti sekliame aerotanke su ilgu dumblo amžiumi, dideliu difuzorių išdėstymo tankiu, tiekiant nedidelį oro debitą.

Bėgant laikui difuzoriaus deguonies perdavimo efektyvumas taip pat gali sumažėti dėl difuzoriaus užsikimšimo arba susidėvėjimo: senuose difuzoriuose angos yra didesnio skersmens, jos gamina didesnius oro burbuliukus, dėl to deguonies perdavimas prastėja. Tuo pat metu slėgio nuostoliai per membraną padidėja, kadangi difuzoriaus medžiaga sukietėja, o angos pasidengia nuosėdomis. Jei orapūtės slėgis yra per mažas, tiekiamas oras bus paskirstomas netolygiai, o tai irgi sumažina deguonies perdavimo efektyvumą (Rosso *et al.* 2008a). Siekiant pašalinti nuosėdas, difuzorius periodiškai reikia valyti. Rosso *et al.* (2008a) nurodo, kad naujų ir išvalytų difuzorių deguonies ištirpinimo efektyvumas yra didesnis negu tam tikrą laiką naudotų ir dėl to užsikimšusių difuzorių. Siekiant, kad deguonies perdavimo efektyvumas nesumažėtų daugiau negu 25 %, difuzoriai turi būti valomi ne rečiau negu kartą per 24 mėnesius. Tačiau difuzorių valymas neišsprendžia problemų, susijusių su jų savybių pasikeitimu.

1.19 paveiksle pavaizduotas naudoto difuzoriaus tipinis tiekiamo oro paskirstymas. Didelė oro dalis išeina per tą difuzoriaus vietą, kuri yra arčiau oro tiekimo vamzdžio, kai tuo tarpu tolstant nuo oro įtekėjimo vietos oro per difuzorių išeina vis mažiau. Tai paaiškinama tuo, kad difuzoriaus angos yra užsikimšusios, tačiau prie oro įtekėjimo vietos tiekiamas oras savo slėgiu šį užsikimšimą įveikia (Rosso *et al.* 2008b).



1.19 pav. Naudoto difuzoriaus tiekiamo oro paskirstymas (Rosso *et al.* 2008b)

Duchene *et al.* (2001) atliko tyrimus 25 nuotekų valyklose siekiant nustatyti, kaip turi būti projektuojami nedideli aerotankai su smulkiaburbule aeravimo sistema.

Tyrimų metu paaiškėjo, kad esant viso dugno padengimui energetinis aeravimo efektyvumas yra maždaug 40 % didesnis negu tuo atveju, kai difuzoriai yra išdėstyti eilėmis. Taip yra dėl to, kad difuzorių išdėstymas eilėmis sukuria nuotekų cirkuliaciją, kuri savo ruožtu padidina oro burbuliukų kilimo greitį ir tokiu būdu sumažina jų ir nuotekų kontakto laiką, o dėl to sumažėja deguonies perdavimo efektyvumas. Tuo tarpu Wagner ir Popel (1998) nustatė, kad viso dugno padengimo atveju energetinis aeravimo efektyvumas nepriklauso nuo difuzorių išdėstymo tankio.

Energetiniam aeravimo efektyvumas taip pat nepriklauso ir nuo tiekiamo oro debito, tačiau jam įtakos turi papildomas nuotekų sumaišymas. Reikia pastebėti, kad papildomo sumaišymo įtaka energetiniam aeravimo efektyvumui yra didesnė viso dugno padengimo atveju negu difuzorių išdėstymo eilėmis atveju: viso dugno padengimo atveju energetinis aeravimo efektyvumas dėl papildomo maišymo padidėjo vidutiniškai 15%, kai tuo tarpu išdėstymo eilėmis atveju padidėjo tik 8 % (Duchene *et al.* 2001, Wagner ir Popel 1998).

Duchene *et al.* (2001) priėjo išvados, kad norint pasiekti gerus energetinio aeravimo efektyvumus ($>3 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$) mažuose aerotankuose (tūris mažesnis negu $500\text{--}600 \text{ m}^3$), reikia, kad aerotankas būtų apvalus, difuzoriai padengtų visą dugną ir būtų naudojamos tūrinės orapūtės, kadangi jų našumas yra 20–30 % didesnis negu išcentrinių orapūčių.

Libra *et al.* (2002) lygino keraminių ir membraninių vamzdinių difuzorių darbą tikromis sąlygomis. Išanalizavus 2,5 metų trukusių tyrimų rezultatus, jis priėjo išvados, kad, nors naujų membraninių difuzorių standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas ir standartinis energetinis aeravimo efektyvumas yra didesni negu keraminių difuzorių, laikui bėgant jie pradeda mažėti, kai tuo tarpu keraminių difuzorių energetinis aeravimo efektyvumas laikui bėgant didėja. Membraninių difuzorių darbo parametrų blogėjimą bėgant laikui galima paaiškinti jų užsikimšimu ir senėjimu, kadangi pakeitus membraninius difuzorius naujais, jų darbo parametrai vėl tapo geresni negu keraminių difuzorių, bet laikui bėgant vėl pradėjo mažėti.

1.7.4. Deguonies poreikio skaičiavimas

Metcalf ir Eddy (2003) pateikia tokią deguonies poreikio DP skaičiavimo formulę (kai kartu su organinių teršalų šalinimu vyksta ir nitrifikacijos procesas):

$$DP = Q \cdot (L_a - L_t) - 1,42 \cdot P_{x,bio} + 4,33 \cdot Q \cdot NO_x, \text{ kg O}_2/\text{d}; \quad (17)$$

čia: Q – tiekiamų nuotekų debitas, m^3/d ;

L_a – nuotekų, tiekiamų į biologinio valymo įrenginius, vidutinė BDS_5 koncentracija, mgO_2/l ;

L_t – valytų nuotekų BDS_5 koncentracija, mgO_2/l ;

$P_{x,bio}$ – nunykusios biomasės kiekis per parą, $\text{kg VDBM}/\text{d}$;

NO_x – Kjeldalio azoto, oksiduoto iki nitratų, koncentracija, mg/l :

$$NO_x = KN - NH_4^+ - N_{is} - 0,12 \cdot P_{x,bio}, \text{ mg}/\text{l}; \quad (18)$$

čia: KN – Kjeldalio azoto (kuris yra organinio azoto ir amonio azoto suma) koncentracija nevalytose nuotekose, mg/l ;

$NH_4^+ - N_{is}$ – amonio azoto koncentracija ištėkyje, mg/l .

Jei kartu su organinių teršalų šalinimu veikliojo dumblo rezervuare vyksta ir denitrifikacijos procesas, deguonies poreikis bus mažesnis, kadangi dalis lengvai biologiškai skaidomų organinių teršalų yra pašalinama denitrifikacijos zonoje, todėl šios organinių teršalų dalies oksiduoti aerotanke jau nereikia (Rosso *et al.* 2008a).

Aeratoriai renkami pagal gamintojo deklaruojamą jų oksidacinį pajėgumą švariame vandenyje esant standartinėms sąlygoms. Padalinant deguonies poreikį biologiniams procesams iš pataisos koeficientų, aprašytų 1.6.2 skyriuje, galima sužinoti, koks turi būti aeravimo sistemos standartinis oksidacinis pajėgumas, kad aeravimo sistema galėtų patiekti reikiamą deguonies kiekį darbinėmis sąlygomis.

1.7.5. Aeravimo sistemų skaičiavimas Lietuvoje

Projektuojant aeravimo sistemas Lietuvoje, reikiamas aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas skaičiuojamas pagal „Rekomendacijose biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000) pateiktą metodiką.

Reikiamas aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$OC = \frac{z_b \cdot (L_a - L_t) \cdot Q_{hvid} \cdot C_p \cdot K_t \cdot k}{1000 \cdot K_3 \cdot (C_p - C_a)}, \text{ kgO}_2/\text{h}; \quad (19)$$

čia: L_a – nuotekų, tiekiamų į biologinio valymo įrenginius, vidutinė BDS_5 reikšmė, mgO_2/l ;

L_t – valytų nuotekų BDS_5 koncentracija, mgO_2/l ;

Q_{hvid} – valomų nuotekų vidutinis valandos debitas, m^3/h ;

Z_b – savitasis deguonies sunaudojimas, mgO_2/mg pašalinto BDS_5 :

$$Z_b = Z + Z_N ; \quad (20)$$

Z – savitasis deguonies sunaudojimas biocheminiuose procesuose (mikroorganizmų kvėpavimui, organiniams teršalams oksiduoti, mikroorganizmų naujų ląstelių sintezei ir nunykusiems mikroorganizmams oksiduoti). Jo dydis priklauso nuo dumblo amžiaus θ ir dumblo mišinio temperatūros τ ir pateiktas 1.3 lentelėje;

Z_N – savitasis deguonies sunaudojimas nitrifikacijai, mgO_2/mg pašalinto BDS_5 ;

Kai biologinio valymo įrenginiai be azoto šalinimo:

$$Z_N = \frac{4,6 \cdot \text{NH}_4^{+-}\text{N}}{L_a - L_t}, \text{ mgO}_2/\text{mg pašalinto BDS}_5; \quad (21)$$

4,6 – savitasis deguonies sunaudojimas amonio azotui suoksiduoti iki nitratų azoto, $\text{mgO}_2/\text{mgNH}_4^{+-}\text{N}$;

NH_4^{+-}N – amonio azoto koncentracija, mg/l .

Kai biologinio valymo įrenginiai su azoto šalinimu:

$$Z_N = \frac{4,6 \cdot N_v + 1,7 \cdot N_p}{L_a - L_t}, \text{ mgO}_2/\text{mg pašalinto BDS}_5; \quad (22)$$

N_p – reikiamas pašalinti azoto kiekis, mg/l :

$$N_p = N_b - N_n - N_s - N_l, \text{ mg/l}; \quad (23)$$

N_b – bendro azoto koncentracija nuotekose, tiekiamose į valymo įrenginius, mg/l ;

N_n – azoto koncentracijos sumažėjimas pirminiuose nusodintuvuose, mg/l . Priimama, kad nusodintuvuose azoto koncentracija sumažėja apie 10–15%, t. y. $N_n = (0,1 \div 0,15) \cdot N_b$;

N_s – azoto sunaudojimas biocheminiuose procesuose, mg/l :

$$N = 2,4 + 0,006 \cdot A, \text{ mg/100 mg BDS}_5; \quad (24)$$

A – veikliojo dumblo apkrova, $\text{mg BDS}_5/(\text{g ADSM} \cdot \text{d})$.

Veikliojo dumblo apkrova A ir dumblo amžius θ parenkami iš 1.4 lentelės priklausomai nuo valytų nuotekų BDS_5 koncentracijos L_t .

N_l – vidutinė metinė bendro azoto liekamoji koncentracija, mg/l .

N_v – nitratų azoto koncentracija valytose nuotėkose, mg/l ;

$$N_v = N_b - N_n - N_s - N_{\text{org}} - N_p; \text{ mg/l}; \quad (25)$$

N_{org} – liekamoji organinio azoto koncentracija valytose nuotėkose; ji būna lygi apie 5 % N_b .

C_p - vandens prisotinimas deguonimi įrenginyje, mg/l;

$$C_p = C_\tau \left(1 + \frac{h_a}{20,6} \right); \quad (26)$$

h_a – aeratoriaus panardinimo gylis, m;

C_τ – vandens prisotinimas deguonimi esant atmosferiniam slėgiui ir temperatūrai τ ($^{\circ}\text{C}$). Jo reikšmės pateiktos 1.5 lentelėje;

C_a – ištirpusio deguonies koncentracija, mg/l. Priimama, kad C_a lygi 2,0 mg/l;

K_τ – koeficientas, įvertinantis vidutinę mėnesinę dumblo mišinio temperatūrą (τ). Jis skirtas OC perskaičiuoti į standartines sąlygas ($\tau = 20^{\circ}\text{C}$):

$$K_\tau = 1 + 0,02 (\tau - 20); \quad (27)$$

K_3 – koeficientas, įvertinantis deguonies tirpumo sumažėjimą nuotėkose. Jo reikšmė priklauso nuo nuotėkų cheminės sudėties ir nustatomas eksperimentiniu būdu. Daugumos Lietuvos miestų nuotekoms $K_3 = 0,6$;

k – koeficientas, įvertinantis teršalų kiekio patekimo netolygumą. Jo dydis parenkamas priklausomai nuo dumblo amžiaus ir pateiktas 1.6 lentelėje.

1.3 lentelė. Savitasis deguonies sunaudojimas biocheminiuose procesuose (z) priklausomai nuo dumblo amžiaus (Θ) ir dumblo mišinio temperatūros (τ) (Matuzevičius 2000)

$\tau, ^{\circ}\text{C}$	Savitasis deguonies sunaudojimas (z), kai dumblo amžius (Θ)					
	4	6	8	10	15	25
10	0,83	0,95	1,05	1,15	1,32	1,55
12	0,87	1,00	1,10	1,20	1,38	1,60
15	0,94	1,08	1,20	1,30	1,46	1,60
18	1,00	1,17	1,30	1,40	1,54	1,60
20	1,05	1,22	1,35	1,45	1,60	1,60

1.4 lentelė. Išvalytų nuotėkų BDS_5 priklausomybė nuo aktyviojo dumblo apkrovos (A)/dumblo amžiaus (Θ) (Matuzevičius 2000)

$A, \text{mgBDS}_5/(\text{gADSM} \cdot \text{d})$	50	100	150	200	300	400	500
Θ, d^*	40	20	10	7,5	4	3	2,3
$L_t, \text{mg/l}$	9	10	12	17	25	32	40

1.5 lentelė. Vandens prisotinimas deguonimi (C_τ) esant atmosferiniam slėgiui ir temperatūrai (τ) (Matuzevičius 2000)

$\tau, ^{\circ}\text{C}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$C_\tau, \text{mg/l}$	11,27	11,00	10,75	10,50	10,26	10,03	9,82	9,61	9,40	9,21	9,02	8,84	8,67	8,50	8,33

1.6 lentelė. Teršalų kiekio patekimo netolygumo koeficiento (k) priklausomybė nuo dumblo amžiaus (Θ)
(Matuzevičius 2000)

Dumblo amžius (Θ), paromis	4	6	8	10	15	25
Koeficientas k	1,3	1,25	1,22	1,2	1,15	1,1

Reikiamo aeravimo sistemos oksidacinio pajėgumo formulėje (1.20 pav.) pirmas dėmuo nurodo, koks yra deguonies poreikis biologiniams procesams, o antras dėmuo naudojamas perskaičiuoti deguonies poreikį biologiniams procesams į deguonies poreikį švariame vandenyje esant standartinėms sąlygoms. Tokiu būdu perskaičiavus deguonies poreikį biologiniams procesams, galima sužinoti, kokio oksidacinio pajėgumo turi būti projektuojama aeravimo sistema.

$$OC = \frac{z_b \cdot (L_a - L_t) \cdot Q_{\text{kwid}} \cdot C_p \cdot K_t \cdot k}{1000 \cdot K_3 \cdot (C_p - C_a)}$$

Deguonies poreikis
biologiniams procesams

Pataisos koeficientai

1.20 pav. Reikiamos aeravimo sistemos oksidacinio pajėgumo skaičiavimas

1.7.6. Deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimo Lietuvoje ir užsienyje palyginimas

Šiame skyriuje siekiama palyginti, kaip skiriasi deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimas Lietuvoje ir užsienyje. Lietuvoje projektuojant aeravimo sistemas vadovaujamasi „Rekomendacijomis biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000). Užsienio pavyzdžiu pasirinkti deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimai, pateikti JAV autorių, Metcalf ir Eddy, knygoje „Wastewater Engineering, Treatment and Reuse“ (2003).

Skaičiavimams palyginti paimti rinkoje egzistuojantys maži nuotekų valymo įrenginiai, skirti išvalyti nuotekas, susidarančias vienos šeimos (t. y. 4 žmonių) gyvenamajame name. Nuotekų tūris įrenginyje lygus 1,6 m³. Į šiuos valymo įrenginius įteka nuotekos, kurių vidutinis paros debitas lygus 0,8 m³/d, o maksimalus valandos – 0,14 m³/h.

Įtekančių nuotekų teršalų koncentracijos yra tokios:

$$BDS_{5, \text{it}} = 300 \text{ mg/l};$$

$$SM_{it} = 350 \text{ mg/l};$$

$$N_{b,it} = 60 \text{ mg/l}.$$

Nuotekų valymo įrenginiuose nuotekos turi būti išvalytos iki tokių teršalų koncentracijų (Lietuvos Respublikos... 2007):

$$BDS_{5,iš} = 25 \text{ mg/l};$$

$$N_{b,iš} = 20 \text{ mg/l}.$$

Priimama, kad nuotekų valymo įrenginiai stovi jūros lygyje, vidutinė nuotekų temperatūra lygi 18 °C, dumblo amžius lygus 40 dienų, o veikliojo dumblo apkrova tokiu atveju lygi 50 mg BDS₅/gVDSM/d. Esant tokiai veikliojo dumblo apkrovai, veikliojo dumblo koncentracija įrenginyje yra lygi 3 gVDSM/l. Priimama, kad bepelenės medžiagos sudaro 70 % sausųjų medžiagų, todėl veikliojo dumblo koncentracija, išreikšta bepelenėmis medžiagomis, lygi 2,1 gVDBM/l. Per parą įrenginyje susidaro 134 gVDBM dumblo. Priimama, kad įtekančiose nuotekose biologiškai neskaidomų bepelenių medžiagų koncentracija siekia 80 mg/l, tokiu būdu nunykusios biomasės kiekis per parą lygus 70 gVDBM/d. Priimama, kad nitrifikacijos metu visas amonis, esantis nuotekose, oksiduojamas iki nitratų ir nitritų (Matuzevičius 2000).

Priimama, kad difuzoriaus panardinimo gylis lygus 1,5 m, o ištirpusio deguonies koncentracija įrenginyje turi būti lygi 2 mg/l.

Deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimas Lietuvoje remiantis „Rekomendacijomis biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000)

„Rekomendacijose biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000) pateikta reikiamo išstripinti deguonies kiekio formulė susideda iš dviejų dalių (1.20 pav.): pirmas dėmuo nurodo, koks yra deguonies poreikis biologiniams procesams, o antras dėmuo naudojamas perskaičiuoti deguonies poreikį biologiniams procesams į deguonies poreikį švariame vandenyje esant standartinėms sąlygoms.

Tokiu būdu deguonies poreikis skaičiuojamas taip:

$$N_s = 2,4 + 0,006 \cdot 50 = 2,7 \text{ mg/l}; \quad (28)$$

$$N_p = N_b - N_s - N_l = 60 - 2,7 - 20 = 37,3 \text{ mg/l}; \quad (29)$$

$$N_v = N_b - N_{org} - N_s - N_p = 60 - 0,05 \cdot 60 - 2,7 - 37,3 = 19 \text{ mg/l}; \quad (30)$$

$$z_N = \frac{4,6 \cdot 19 + 1,7 \cdot 37,3}{300 - 25} = 0,55 \text{ mgO}_2 / \text{mg pašalinto BDS}_5; \quad (31)$$

$$z_b = 0,55 + 1,6 = 2,15 \text{ mgO}_2 / \text{mg pašalinto BDS}_5; \quad (32)$$

$$DP = z_b \cdot (L_a - L_t) \cdot Q_{\text{hvid}} = 2,15 \cdot (300 - 25) \cdot \frac{0,8}{24} = 19,7 \text{ gO}_2 / \text{h}. \quad (33)$$

Suminio pataisos koeficiento skaičiavimas:

$$C_p = C_\tau \cdot \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) = 9,4 \cdot \left(1 + \frac{1,5}{20,6}\right) = 10,08 \text{ mg/l}; \quad (34)$$

$$K_\tau = 1 + 0,02 \cdot (\tau - 20) = 1 + 0,02 \cdot (18 - 20) = 0,96; \quad (35)$$

$$\Sigma K = \frac{K_3 \cdot (C_p - C_a)}{C_p \cdot K_\tau \cdot k} = \frac{0,6 \cdot (10,08 - 2)}{10,08 \cdot 0,96 \cdot 1,1} = 0,46. \quad (36)$$

Reikiamas aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas standartinėmis sąlygomis:

$$SOP = \frac{DP}{\Sigma K} = \frac{19,7}{0,46} = 42,8 \text{ gO}_2 / \text{h}. \quad (37)$$

Deguonies poreikio ir pataisos koeficientų skaičiavimas remiantis „Wastewater Engineering, Treatment and Reuse“ (2003)

Deguonies poreikio skaičiavimas:

$$NO_x = KN_{it} - NH_4^+ - N_{is} - 0,12 \cdot P_{x,bio} = 60 - 0 - 0,12 \cdot 70 = 53,3 \text{ g/m}^3; \quad (38)$$

$$DP = Q \cdot (L_a - L_t) - 1,42 \cdot P_{x,bio} + 4,33 \cdot Q \cdot NO_x = 0,8 \cdot (300 - 25) - 1,42 \cdot 70 + 4,33 \cdot 0,8 \cdot 53,3 = 305 \text{ gO}_2 / \text{d} = 12,7 \text{ gO}_2 / \text{h}. \quad (39)$$

Suminio pataisos koeficiento skaičiavimas:

$$C_{s,T,H} = C_{s,juros \text{ lygyje}} \cdot F_a = 9,45 \cdot 1 = 9,45 \text{ mg/l}; \quad (40)$$

$$P_d = P_{atm,H} + h_a \cdot 9,8 = 101,325 + 1,5 \cdot 9,8 = 116,025 \text{ kPa}; \quad (41)$$

$$C_{s,T,H}^* = C_{s,T,H} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P_d}{P_{atm,H}} + \frac{O_T}{21} \right) = 9,45 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{116,025}{101,325} + \frac{20}{21} \right) = 9,91 \text{ mg/l}; \quad (42)$$

$$\Sigma K = \left(\frac{\beta \cdot C_{s,T,H}^* - C_L}{C_{s,20}} \right) \cdot (1,024^{T-20}) \cdot \alpha = \frac{0,95 \cdot 9,91 - 2}{9,08} \cdot (1,024^{18-20}) \cdot 0,6 = 0,47. \quad (43)$$

Reikiamas aeravimo sistemos oksidacinis pajėgumas standartinėmis sąlygomis:

$$SOP = \frac{DP}{\Sigma K} = \frac{12,7}{0,47} = 27,0 \text{ gO}_2 / \text{h}. \quad (44)$$

Kaip matyti iš gautų rezultatų, deguonies poreikis, apskaičiuotas pagal „Rekomendacijas biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000), yra maždaug 36 % didesnis negu apskaičiuotas remiantis užsienio literatūra.

Tuo tarpu abiejų skaičiavimų suminiai pataisos koeficientai yra lygūs, nors skaičiuojant juos skirtingose metodikose įvertinami skirtingi veiksniai arba to paties veiksnio įtaka vertinama skirtingai. Pvz., temperatūros įtakai ir vandens prisotinimui deguonimi įrenginyje įvertinti metodikose naudojamos panašios, bet visgi skirtingos formulės. Be to, Matuzevičius (2000) įvertina ir teršalų kiekio patekimo netolygumo įtaką aeravimo sistemos darbo parametrams.

Padalinant deguonies poreikį biologiniams procesams iš suminio pataisos koeficiento, sužinoma, koks turi būti aeravimo sistemos standartinis oksidacinis pajėgumas, kad aeravimo sistema galėtų patiekti reikiamą deguonies kiekį darbinėmis sąlygomis. Reikiamo aeravimo sistemos oksidacinio pajėgumo standartinėmis sąlygomis reikšmė, apskaičiuota pagal „Rekomendacijas biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000), yra maždaug 37 % didesnė negu apskaičiuota remiantis užsienio literatūra. Didesniam oksidaciniam pajėgumui pasiekti reikalingas didesnis oro debitas. Taigi, skaičiuojant aeravimo sistemos oksidacinį pajėgumą pagal metodiką, taikomą Lietuvoje, parenkamos galingesnės orapūtės. Galingesnės orapūtės naudoja daugiau elektros energijos, todėl išlaidos nuotekų valymui bus didesnės, kai aeravimo sistema yra suprojektuota pagal Lietuvoje taikomą metodiką.

1.8. Išvados

Atlikus literatūros apžvalgą, galima padaryti tokias išvadas:

- 1) Visus aeravimo prietaisus galima suskirstyti į paviršinius, kuriems priskiriama dauguma mechaninių aeratorių, siurbiamieji aeratoriai, slenkstiniai aeratoriai, ir panardinamuosius, kuriems priklauso difuzoriai bei čiurkšliniai aeratoriai.

- 2) Panardinamieji difuzoriai skirstomi į smulkiaburbulius ir stambiaburbulius, poringuosius ir neporinguosius.
- 3) Dėl savo didelio energetinio aeravimo efektyvumo šiuo metu pasaulyje plačiai naudojami smulkiaburbuliai panardinamieji difuzoriai, kurie gali būti gaminami iš keramikos, poringojo plastiko, perforuotų membranų; jie gaminami įvairių formų ir gali būti lankstūs arba standūs.
- 4) Gamintojų pateikiamos aeratorių darbo charakteristikos yra standartinės (t. y. nustatytos švariame vandenyje ir perskaičiuotos į standartines sąlygas), tuo tarpu aeruojant nuotekas tikrosiomis sąlygomis aeratorių darbo efektyvumas dėl įvairių priežasčių bus blogesnis negu nustatytas švariame vandenyje. Siekiant nustatyti, kokie aeratoriaus darbo parametrai bus tikrosiomis sąlygomis, naudojami įvairūs pataisos koeficientai, kurie įvertina daugelį veiksnių, tokių kaip, nuotekų temperatūra, aeratoriaus tipas, nuotekų sudėtis ir kt.
- 5) Deguonies poreikis biologiniams procesams, apskaičiuotas pagal „Rekomendacijas biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000), naudojamas Lietuvoje, yra maždaug 36 % didesnis negu apskaičiuotas remiantis skaičiavimo metodika, aprašyta knygoje „Wastewater Engineering, Treatment and Reuse“ (2003). Tuo tarpu abiejų skaičiavimų suminiai pataisos koeficientai, skirti standartiniams aeravimo sistemos darbo parametrams perskaičiuoti į tikrąsias sąlygas, sutampa ir yra lygūs 0,46–0,47.

Reikiamo aeravimo sistemos oksidacinio pajėgumo standartinėmis sąlygomis reikšmė, apskaičiuota pagal „Rekomendacijas biologinio valymo įrenginiams projektuoti“ (2000), yra maždaug 37 % didesnė negu apskaičiuota remiantis „Wastewater Engineering, Treatment and Reuse“ (2003). Kadangi didesniam oksidaciniam pajėgumui pasiekti reikalingas didesnis oro debitas, skaičiuojant aeravimo sistemos oksidacinį pajėgumą pagal metodiką, taikomą Lietuvoje, parenkamos galingesnės orapūtės. Tokios orapūtės sunaudoja daugiau elektros energijos ir tokiu būdu padidina išlaidas nuotekų valymui.

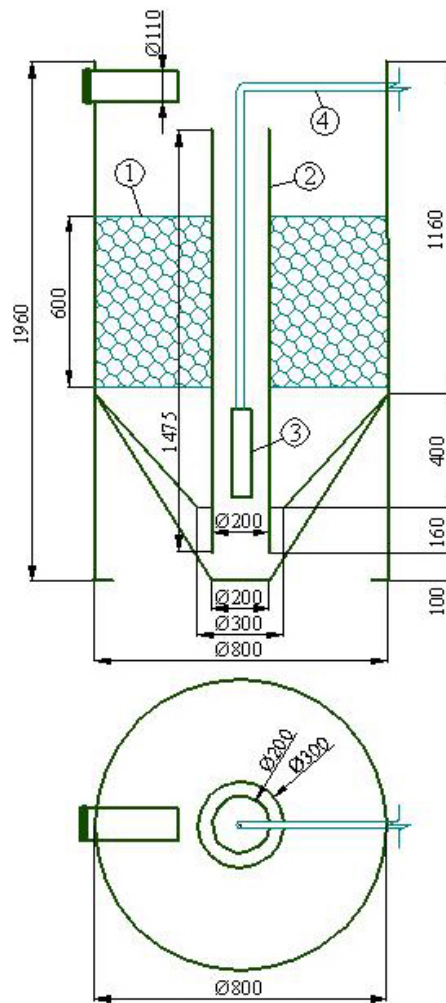
- 6) Difuzorių darbas priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip difuzoriaus tipas, dydis, jų skaičius, tiekiamas oro debitas, difuzoriaus panardinimo gylis, aerotanko geometrija ir difuzorių išdėstymo būdas, nuotekų charakteristikos, dumblo amžius, difuzoriaus būklė ir kt.
- 7) Atlikus literatūros apžvalgą nebuvo rasta literatūros šaltinių, kuriuose būtų aprašomas vertikaliai sumontuotų vamzdinių difuzorių darbas ir jų darbo charakteristikų priklausomybė nuo difuzorių ilgio, skaičiaus, oro tiekimo būdo.

- 8) Literatūroje aprašoma tik judriosios įkrovos įtaka deguonies perdavimui, tuo tarpu informacijos apie nejudančios įkrovos įtaką deguonies perdavimui rasta nebuvo.

2. Eksperimentinė tiriamoji dalis

2.1. Darbo objektas

Tyrimai atlikti 0,8 m skersmens ir 1,96 m aukščio veikliojo dumblo rezervuare (2.1 pav.), kuris yra sumažinta rinkoje egzistuojančio mažo valymo įrenginio kopija. Rezervuare įdėta plastikinė vamzdinė įkrova 1, kurios aukštis lygus 0,6 m, ir sumontuotas 0,2 m skersmens centrinis vamzdis 2, kuris apsaugo difuzorių 3. Tikromis sąlygomis šiuo vamzdžiu dalis nusėdusio dumblo difuzoriaus sukeltu oro srautu yra pakeliama į viršų ir grąžinama atgal į aerotanką, per jį taip pat periodiškai yra išsiurbiamas perteklinis dumblas. Difuzorius tvirtinamas prie standaus oro tiekimo vamzdžio 4. Visų bandymų metu vandens lygis įrenginyje buvo lygus 1,65 m.



2.1 pav. Rezervuaras, kuriame buvo vykdomi tyrimai

Tyrimams naudoti du vamzdiniai smulkiaburbuliai membraniniai difuzoriai, susidedantys iš dviejų dalių: guminės EPDM membranos ir ją palaikančios konstrukcijos – polipropileno vamzdžio (2.2 pav., A), ir diskinis difuzorius (2.2 pav., B).

Vamzdinių difuzorių gamintojas – Jäger Umwelt-Technik GmbH & Co. KG, Vokietija. Pirmojo difuzoriaus efektyvus (perforuotas) ilgis – 360 mm, bendras ilgis – 420 mm, skersmuo – 63 mm. Antrojo difuzoriaus efektyvus ilgis lygus 500 mm, bendras ilgis – 560 mm, skersmuo – 63 mm. Antrojo difuzoriaus charakteristikos pateiktos priede 1. Pirmasis difuzorius buvo pagamintas pagal užsakymą, todėl apie jo charakteristikas galima spręsti tik preliminariai.

Diskinis difuzorius susideda iš dviejų dalių: guminio korpuso ir guminės aklės. Oras orapūte tiekiamas į difuzoriaus centrą, atsimušęs į guminę aklę oras kyla į viršų per skylutes. Difuzoriaus skersmuo lygus 73 mm, disko aukštis – 10 mm. Difuzoriuje yra padaryta 20 skylučių, per kurias oras tiekiamas į įrenginį, kiekvienos skylutės skersmuo lygus 3 mm. Difuzoriaus gamintojas nenurodytas.



A



B

2.2 pav. Tirtieji difuzoriai: A – vamzdinis, B – diskinis

Tyrimai buvo atliekami tiekiant skirtingą oro debitą. Tam buvo naudotos skirtingų galių orapūtės (2.3 pav.).



2.3 pav. Naudota orapūtė

Bandymų metu orapūtės dirbo maksimaliu pajėgumu, tačiau tam tikrais atvejais tiekiamo oro kiekis buvo reguliuojamas sklende ant oro tiekimo vamzdžio. Siekiant ištirti difuzorių darbą esant didesnėms oro debitams negu gali užtikrinti galingiausia orapūtė, buvo lygiagrečiai sujungiamos kelios orapūtės. Bandymai su kiekvienu oro debitu buvo pakartoti du kartus.

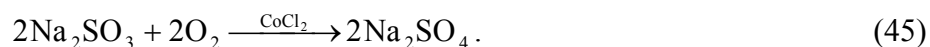
2.2. *Bandymų metodika*

Tyrimai atlikti vadovaujantis Lietuvos standartu LST EN 12255–15:2004 „Nuotekų valyklos. 15 dalis. Švaraus vandens deguoninimo matavimai veikliojo dumblo įrenginių aeravimo rezervuaruose“ (2004) ir Statybos techniniu reglamentu STR 2.02.05:2004 „Nuotekų valyklos. Pagrindinės nuostatos“ (2004), VII skyrius.

Siekiant nustatyti standartinius difuzorių darbo parametrus, buvo atlikami absorbcijos bandymai: iš pradžių ištirpęs vandenyje deguonis buvo pašalinamas įterpiant į vandenį natrio sulfitą, tada vanduo buvo aeruojamas tol, kol ištirpusio deguonies koncentracija nenustodavo didėti, t. y. buvo pasiekta soties koncentracija. Tada pagal gautus duomenis buvo skaičiuojami difuzorių darbo parametrai.

Bandymai buvo atliekami geriamajame vandenyje, tiekiamame iš Antavilių vandenvietės. Siekiant pravalyti oro tiekimo vamzdžius ir difuzorių angas, prieš pradedant bandymus į difuzorių 24 valandas buvo tiekiamas oras.

Natrio sulfito cheminė reakcija su vandenyje ištirpusiu deguonimi vyksta pagal (45) lygtį:



Natrio sulfito poreikis vienam bandymui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G = d \cdot (C_i - C_L) \cdot V \cdot 1,5, \text{ g}; \quad (46)$$

Čia d – reagento dozė, g/g O₂;

C_i – ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje, mg O_2 /l;

C_L – liekamoji ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje po reagento ištirpimo, mg O_2/l ;

V – įrenginio tūris, m^3 ;

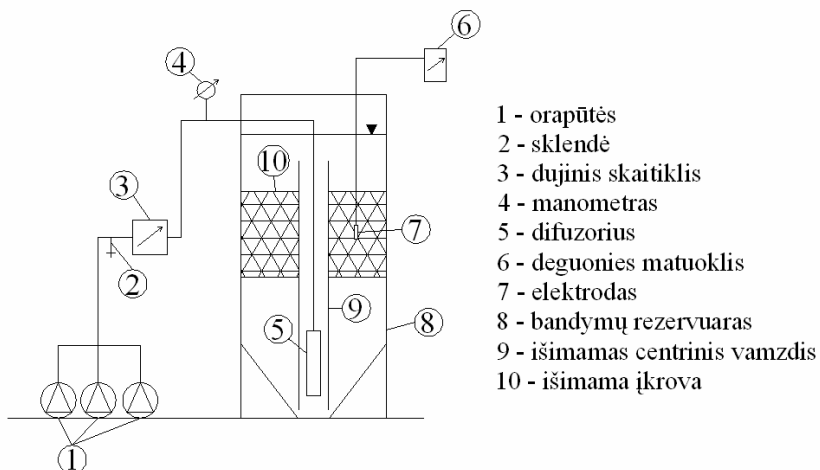
1,5 – atsargos koeficientas.

Natrio sulfito dozė yra 8 g – 1 g ištirpusio deguonies pašalinti. Ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje buvo matuota prieš kiekvieną bandymą. Liekamoji ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje po reagento ištirpimo priimta lygi 1 mg/l.

Bandymai su tuo pačiu vandeniu buvo vykdomi tol, kol vandens savitasis elektros laidis dėl druskų koncentracijos padidėjimo neviršijo 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kai savitasis elektros laidis buvo arti ribinės reikšmės, vanduo buvo keičiamas nauju ir tyrimai tęsiami toliau.

Reakcijoms paspartinti prieš bandymus į vandenį buvo įterptas kobalto chloridas, kurio dozė pagal Co^{+2} yra 0,5 mg/l. Kobalto chloridas į tą patį vandenį, kuriame atliekami bandymai, buvo pilamas tik kartą. Siekiant užtikrinti tolygų kobalto chlorido pasiskirstymą vandenyje, po jo įterpimo vanduo buvo aeruojamas vieną valandą.

Bandymų stendo principinė schema ir nuotrauka pavaizduota 2.4 pav.



2.4 pav. Bandymų stendas

Bandymai buvo atliekami tokia tvarka (po kobalto chlorido įterpimo):

- 1) Sklende ant oro tiekimo vamzdžio reguliuojama, kiek oro bus tiekama į bandymų rezervuarą. Bandymai su kiekvienu oro debitu buvo pakartoti du kartus;
- 2) Išmatuojama ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje (deguonies matuoklio matavimų paklaida $\pm 0,5\%$) ir savitasis elektros laidis;
- 3) Pagal išmatuotą ištirpusio deguonies koncentraciją nustatomas reikiamas natrio sulfito kiekis, jis supilamas į įrenginį ir išmaišomas siekiant pašalinti ištirpusį deguonį;
- 4) Nustatomas skaičiuojamasis vandens lygis, vandens temperatūra (matuota deguonies matuokliu, jo temperatūros matavimo paklaida $\pm 0,1^\circ\text{C}$), savitasis elektros laidis, atmosferinis slėgis, oro temperatūra;
- 5) Įjungiamo orapūtė ir matuojama ištirpusio deguonies koncentracija (elektrodas buvo panardintas ties įrenginio viduriu pagal gylį, per vidurį tarp centrinio vamzdžio ir išorinės sienutės). Kai ištirpusio deguonies koncentracija pakyla iki 0,5–1,5 mg/l, fiksuojamas laikas, dujinio skaitiklio rodmenys, oro slėgis;
- 6) Tada lygiais laiko intervalais fiksuojama ištirpusio deguonies koncentracija;
- 7) Kai ištirpusio deguonies koncentracija nebekyla, užrašomi dujinio skaitiklio rodmenys, orapūtė išjungiamo, matavimai nutraukiami;
- 8) Pabaigus bandymus dar kartą nustatomas skaičiuojamasis vandens lygis, vandens temperatūra, savitasis elektros laidis.

Tyrimų metu matuoti parametrai toliau naudojami difuzorių darbo parametrų skaičiavimams. Jei tam tikras parametras buvo matuojamas prieš ir po bandymo (pvz., vandens temperatūra), skaičiavimuose naudojamas šio parametro vidurkis.

Bandymų metu buvo naudoti tokie prietaisai (2.5 pav.):

- 1) Barometras;
- 2) Manometras;
- 3) Chronometras АΓАТ;
- 4) Deguonies ir temperatūros matuoklis Mettler Toledo, modelis Seven Go Pro SG 6;
- 5) Elektroninės svarstyklės Kern 440–53N,
- 6) Dujinis skaitiklis ELSTER, modelis BK-G2, 5T.



Dujinis skaitiklis



Manometras



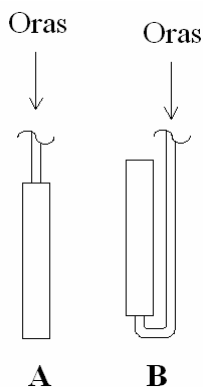
Deguonies ir temperatūros matuoklis



Svarstyklės

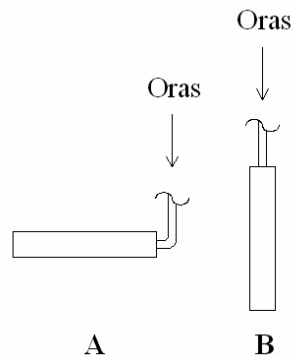
2.5 pav. Naudoti prietaisai

Difuzorius tvirtinamas prie standaus oro tiekimo vamzdžio (2.1 pav.). Tyrimais buvo patikrinti du deguonies tiekimo į difuzorių būdai – iš viršaus (2.6 pav., A) ir iš apačios (2.6 pav., B). Abiejų oro tiekimo būdų bandymų rezultatai yra panašūs (2.1 lentelė 2.4.1 skyriuje), todėl tolesniuose tyrimuose oras į difuzorius buvo tiekiamas iš viršaus, kadangi toks būdas yra patogesnis konstrukciniu požiūriu. Bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova.



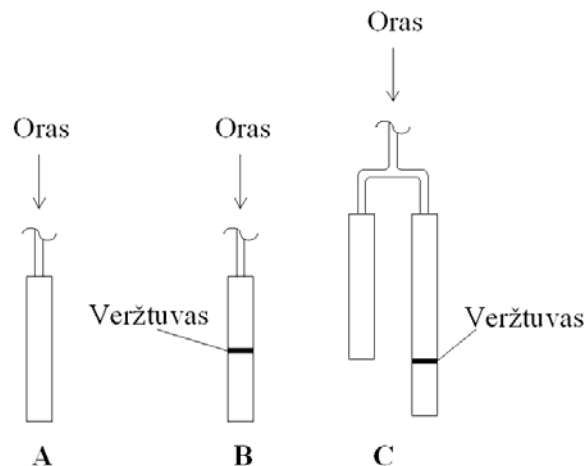
2.6 pav. Oro tiekimo į vertikalčiai sumontuotą vamzdinį difuzorių būdai: A – iš viršaus, B – iš apačios

Bandymų metu buvo siekiama išsiaiškinti, kokią įtaką horizontaliai montuojamo vamzdinio difuzoriaus darbo parametrams turi jo montavimas vertikaliai. Tam buvo atlikti vandens deguoninimo tyrimai su 180 mm ilgio vamzdinio difuzoriumi, sumontuotu horizontaliai (2.7 pav., A) ir vertikaliai (2.7 pav., B). Bandymai buvo atliekami rezervuare, išėmus iš jo centrinį vamzdį ir įkrova.



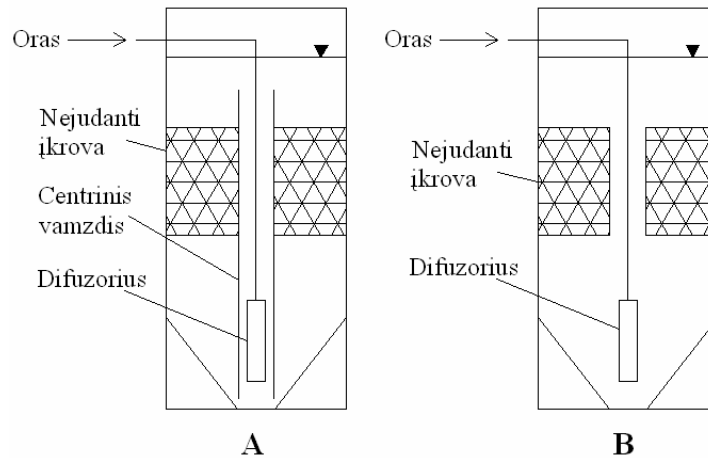
2.7 pav. Vamzdinio difuzoriaus montavimas: A – horizontaliai, B – vertikaliai

Bandymų metu taip pat buvo siekiama išsiaiškinti, kokią įtaką deguonies perdavimui turi vertikaliai pastatyto vamzdinio difuzoriaus ilgis. Šiam tikslui buvo atlikti bandymai su visu difuzoriaus ilgiu (360 mm) (2.8 pav., A) ir su puse difuzoriaus ilgio (180 mm) (2.8 pav., B). Tam difuzorius veržtuvu buvo padalytas į dvi lygias dalis po 180 mm, ir oras buvo tiekiamas tik į vieną dalį. Taip pat buvo pabandyta tiekti orą į du lygiagrečiai sujungtus difuzorius (2.8 pav., C) ir pažiūrėti, kokią įtaką deguonies perdavimui turi difuzorių skaičius. Bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova.



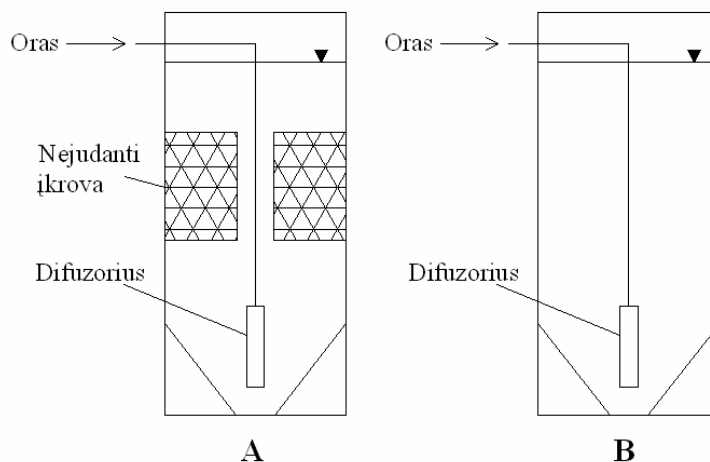
2.8 pav. Difuzorių ilgio ir skaičiaus įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su visu difuzoriaus ilgiu, B – bandymai atlikti su puse difuzoriaus ilgio, C – oras tiekiamas į du lygiagrečiai sumontuotus difuzorius

Tyrimais taip pat buvo siekiama išsiaiškinti, ar aerotanko konstrukcija turi įtakos difuzoriaus darbo parametrams. Tam deguoninimo bandymai buvo atlikti su 180 mm ilgio vertikaliai sumontuotu vamzdiniu difuzoriumi aerotanke su centriniu vamzdžiu (2.9 pav., A) ir nesant centrinio vamzdžio (2.9 pav., B). Bandymų metu aerotanke buvo įdėta nejudanti įkrova.



2.9 pav. Centrinio vamzdžio įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su sumontuotu centriniu vamzdžiu, B – bandymai atlikti išmontavus centrinį vamzdį

Taip pat buvo patikrinta, kaip difuzoriaus darbo parametrus veikia nejudančios įkrovos būvimas aerotanke. Tam buvo atlikti tyrimai su 180 mm ilgio vertikaliai sumontuotu vamzdiniu difuzoriumi, kai aerotanke yra įkrova (2.10 pav., A) ir kai ji yra išimta (2.10 pav., B). Kadangi prieš tai atliktų tyrimu metu paaiškėjo, kad centrinis vamzdis turi įtakos deguonies perdavimui, bandymai buvo atliekami išėmus iš aerotanko centrinį vamzdį.



2.10 pav. Nejudančios įkrovos įtakos nustatymo bandymai: A – bandymai atlikti su įdėta įkrova, B – bandymai atlikti išėmus įkrovą

Bandymų metu taip pat buvo palyginti dviejų rinkoje egzistuojančių ir naudojamų mažuose nuotekų valymo įrenginiuose difuzorių darbo parametrai. Mažuose nuotekų valymo įrenginiuose naudojamas vamzdinis difuzorius (gamintojas – Jäger Umwelt-Technik GmbH & Co. KG, Vokietija), kurio ilgis yra 180 mm. Todėl bandymų metu turimas 360 mm ilgio difuzorius veržtuvu buvo padalytas į dvi lygias dalis po 180 mm, ir oras buvo tiekiamas tik į vieną dalį. Kitas rinkoje egzistuojantis difuzorius – diskinis. Abiejų difuzorių aprašymai pateikti 2.1 skyriuje. Bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova.

2.3. Skaičiavimų metodika

Skaičiavimai atlikti vadovaujantis Lietuvos standartu LST EN 12255–15:2004 „Nuotekų valyklos. 15 dalis. Švaraus vandens deguoninimo matavimai veikliojo dumblo įrenginių aeravimo rezervuaruose“.

Pasinaudojant bandymų metu gautais duomenimis apskaičiuojamos tokios standartinės difuzorių darbo charakteristikos (t. y. nustatytos švariame vandenyje ir perskaičiuotos į standartinės sąlygas: deguonies koncentracija lygi 0 mg/l, vandens temperatūra lygi 20° C, atmosferinis slėgis lygus 1013 hPa):

- 1) standartinis oksidacinis pajėgumas (angl. *Standard Oxygen Transfer Rate*);
- 2) standartinis deguonies ištirpinimo/perdavimo efektyvumas (angl. *Specific Standard Oxygen Transfer Efficiency*);
- 3) standartinis energetinis aeravimo efektyvumas (angl. *Standard Aeration Efficiency*) (Nuotekų valyklos... 2004).

Standartinis oksidacinis pajėgumas kiekvienam oro debitui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SOP = V \cdot k_L a_{20} C_{s,20}, \text{ g O}_2/\text{h}; \quad (47)$$

čia: V – vandens tūris įrenginyje, m^3 ;

$C_{s,20}$ – bandymų vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, perskaičiuota į standartinės sąlygas, mg/l ;

$k_L a_{20}$ – deguonies perdavimo koeficientas, perskaičiuotas į standartinės sąlygas, $1/\text{h}$.

Bandymų vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, perskaičiuota į standartines sąlygas, apskaičiuojama pagal formulę:

$$C_{s,20} = C_{s,p,T} \cdot \frac{C_{s,st,20}}{C_{s,st,T}} \cdot \frac{p_{st}}{p}, \text{ mg/l}; \quad (48)$$

čia: $C_{s,p,T}$ – bandymų vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, mg/l;

$C_{s,st,20}$ – vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, mg/l;

$C_{s,st,T}$ – vandens prisotinimo deguonimi koncentracija esant standartiniam atmosferiniam slėgiui ir bandymų metu buvusiai temperatūrai, mg/l;

p_{st} – standartinis atmosferinis slėgis, hPa;

p – bandymų metu buvęs atmosferinis slėgis, hPa.

Deguonies perdavimo koeficientas, perskaičiuotas į standartines sąlygas, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k_L a_{20} = k_L a_T \cdot 1,024^{(20-T)}, \text{ 1/h}; \quad (49)$$

čia: $k_L a_T$ – deguonies perdavimo koeficientas esant bandymų metu buvusiai vandens temperatūrai, 1/h;

T – bandymų metu buvusi vandens temperatūra, °C.

Deguonies perdavimo koeficientas esant bandymų metų buvusiai vandens temperatūrai $k_L a_T$ nustatomas netiesinės arba tiesinės regresijos būdu. Tiesinės regresijos būdą gali taikyti tik įgaliotos institucijos, kurios bandymų vandens prisotinimo deguonimi koncentraciją nustato Vinklerio titravimo būdu.

Šiame darbe deguonies perdavimo koeficientas esant bandymų metų buvusiai vandens temperatūrai buvo nustatomas netiesinės regresijos būdu, pasinaudojant kompiuterine programa Statistika.

Taikant netiesinės regresijos būdą, $k_L a_T$ nustatomas pagal tokią lygtį:

$$C_t = C_{s,p,T} - (C_{s,p,T} - C_0) \cdot \exp(-k_L a_T \cdot t); \quad (50)$$

čia: C_t – laiko momentu t , h, išmatuota ištirpusio deguonies koncentracija, mg/l;

C_0 – pradinė ištirpusio deguonies koncentracija, mg/l.

Deguonies perdavimo koeficiento $k_L a_T$ nustatymui turi būti naudojama mažiausiai 30 C_t ir t reikšmių porų, kurių deguonies koncentracija yra tarp 0 ir $0,99 \cdot C_{s,p,T}$.

Standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SDIE = \frac{100 \cdot SOP}{1000 \cdot h_a \cdot O \cdot 0,299}, \text{ proc./m}; \quad (51)$$

čia: h_a – difuzoriaus panardinimo gylis, m;

O – tiekiamo oro debitas esant standartinėms sąlygoms, m^3/h .

Standartinis energetinis aeravimo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SEAE = \frac{SOP}{1000 \cdot P}, \text{ kg/kWh}; \quad (52)$$

čia: P – išmatuota aeravimo sistemos bendra galia, kW. Šiame darbe aeravimo sistemos galia yra lygi orapūčių galiai. Orapūčių galia nebuvo matuota. Skaičiavimuose priimta, kad ji lygi gamintojo nurodytai orapūčių galiai.

Tiekiamo oro debitas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$O = \frac{W_a \cdot 60}{t_a}, \text{ Nm}^3/\text{h}; \quad (53)$$

čia: W_a – pasiurbto oro kiekis per t_a trukmę, perskaičiuotas į standartinės sąlygas, Nm^3 ;

t_a – aeravimo trukmė (nuo C_0 iki paskutinio C_t), min.

Pasiurbto oro kiekis W_a išskaičiuojamas iš priklausomybės:

$$W_a \cdot \frac{p_a}{760} \cdot 10,33 = W_s \cdot \left(\frac{p_a}{760} \cdot 10,33 + p_s \right); \quad (54)$$

čia: p_a – bandymų metu buvęs atmosferinis slėgis, mm Hg st.;

p_s – suslėgto oro slėgis, m vandens st. (nustatomas pagal manometro rodmenis);

W_s – suslėgto oro kiekis per bandymo trukmę t_a , m^3 .

2.4. Tyrimų rezultatai

Bandymai buvo atliekami 2008 metų gruodžio mėnesį, 2009 metų sausio, rugpjūčio–rugsėjo mėnesiais ir 2010 metų kovo–gegužės mėnesiais Vandentvarkos katedros cheminėje laboratorijoje.

2.4.1. Oro tiekimo būdo įtaka vertikalčiai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus darbo parametrų

Kadangi vertikalčiai sumontuotas vamzdinis difuzorius tvirtinamas prie vertikalaus oro tiekimo vamzdžio, jį yra patogiau tvirtinti taip, kad oras į jį būtų tiekiamas iš viršaus (2.6 pav., A). Todėl tyrimais buvo siekiama patikrinti, ar oro tiekimo būdas į vertikalčiai sumontuotą vamzdinį difuzorių turi įtakos jo darbo parametrų. Tam buvo atlikti bandymai su dviem oro tiekimo į difuzorių būdais – iš viršaus ir iš apačios. Bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova.

2.1 lentelė. Oro tiekimo būdo įtaka difuzoriaus darbo parametrų

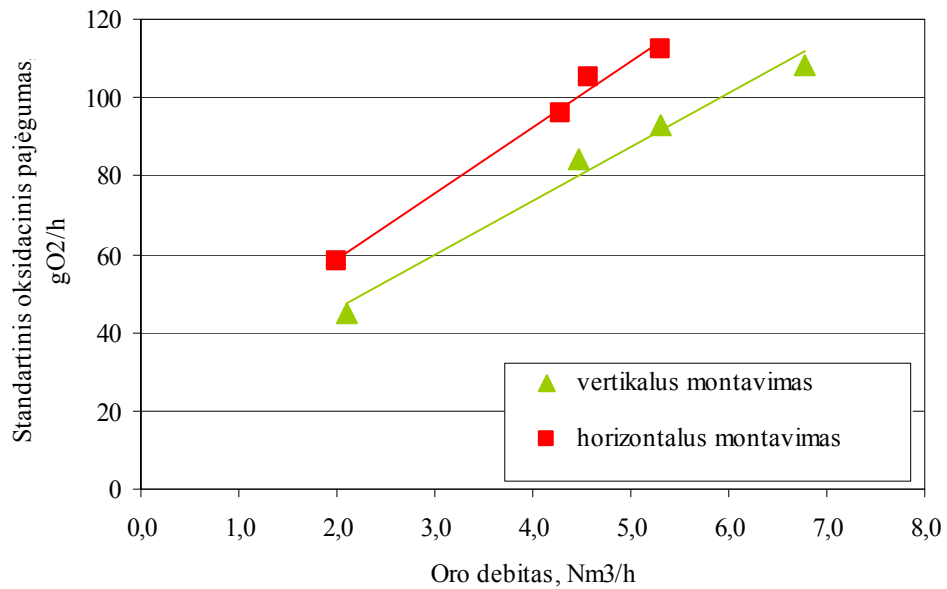
Difuzoriaus ilgis, mm	Oro tiekimas	SOP, gO ₂ /h	SDIE, %/m	SEAE, kgO ₂ /h
180	Iš viršaus	46,72	3,91	0,92
	Iš apačios	42,48	3,74	0,83
360	Iš viršaus	43,38	3,44	0,83
	Iš apačios	42,39	3,22	0,84

Kaip matyti iš 2.1 lentelės, esant $3 \pm 0,15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ oro tiekimo debitui, 180 mm ir 360 mm ilgio difuzoriai su oro tiekimu iš viršaus parodė šiek tiek didesnes difuzorių darbo parametrų reikšmes. Tačiau skirtumas tarp gautųjų rezultatų, tiekiant orą iš viršaus ir iš apačios, neviršija 10 %, todėl galima teigti, kad oro tiekimo būdas esminės įtakos difuzorių darbo efektyvumui neturi. Toliau tyrimuose dėl patogumo oras į difuzorius buvo tiekiamas iš viršaus.

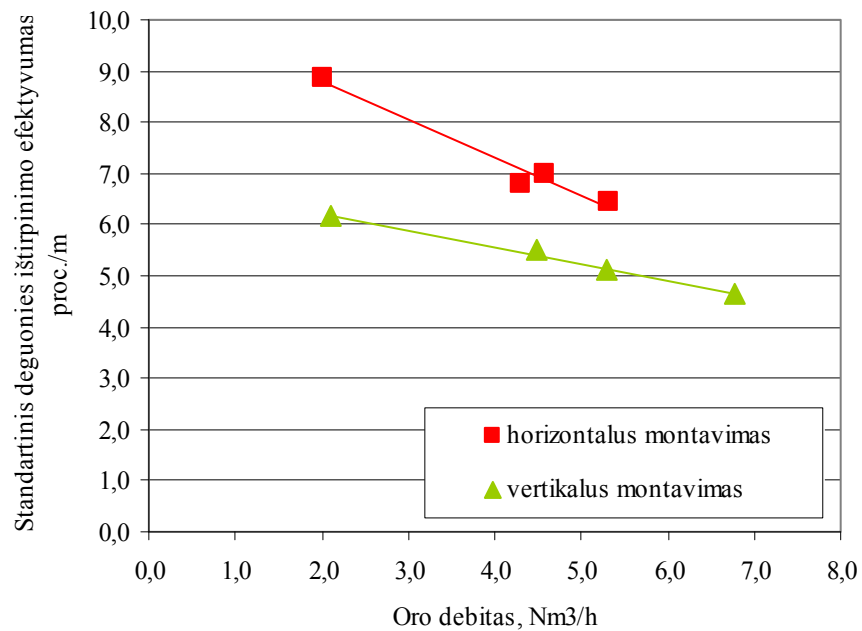
2.4.2. Vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo įtaka difuzoriaus darbo parametrų

Vamzдиниų difuzorių gamintojai pateikia vamzдиниų difuzorių darbo charakteristikas jų horizontaliam pastatymui. Tačiau kadangi maži nuotekų valymo įrenginiai yra nedidelių išmatavimų bei įvairių formų, gaminant juos, konstrukciniu požiūriu gali būti patogiau difuzorių montuoti vertikalčiai. Todėl bandymų metu buvo siekiama palyginti, kaip skiriasi to paties vamzdinio difuzoriaus darbo charakteristikos, sumontavus jį vertikalčiai ir horizontaliai. Tam buvo atlikti vandens deguoninimo bandymai su 180 mm ilgio vamzдиниu difuzoriumi, sumontuotu horizontaliai ir vertikalčiai. Bandymai buvo atliekami rezervuare, išėmus iš jo centrinį vamzdį ir

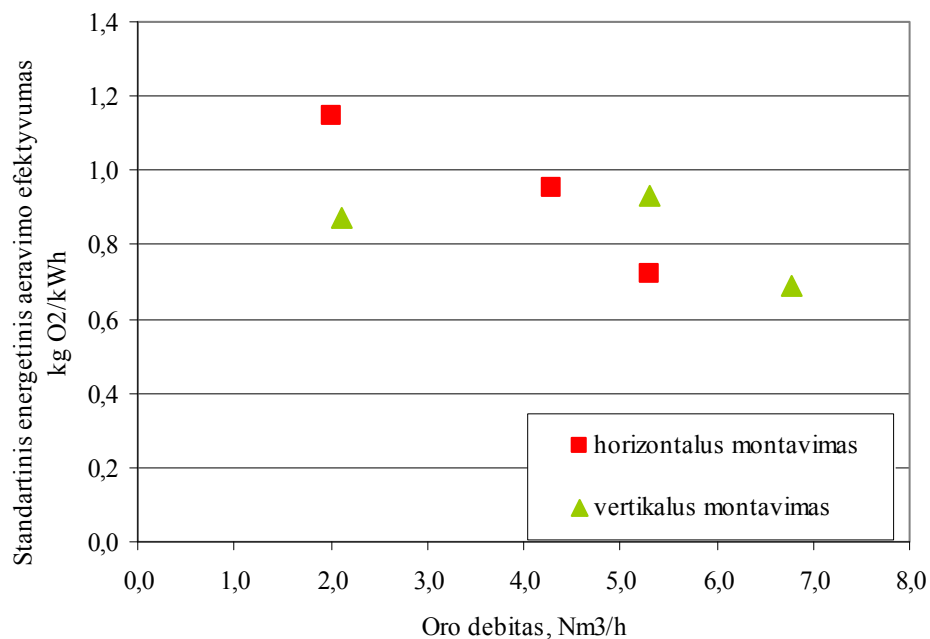
įkrovą. Vamzdinių difuzorių darbo efektyvumo priklausomybė nuo jų montavimo būdo pavaizduota 2.11–2.13 pav.



2.11 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo



2.12 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo



2.13 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus montavimo būdo

Iš 2.11–2.13 pav. matyti, kad sumontavus vamzdinius difuzorius vertikaliai, jų standartinis oksidacinis pajėgumas sumažėja maždaug 20 %, o standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas – maždaug 25 %, lyginant su horizontaliu šių difuzorių montavimu. Tuo tarpu standartiniam energetiniam aeravimo efektyvumui difuzorių montavimo būdas įtakos neturi.

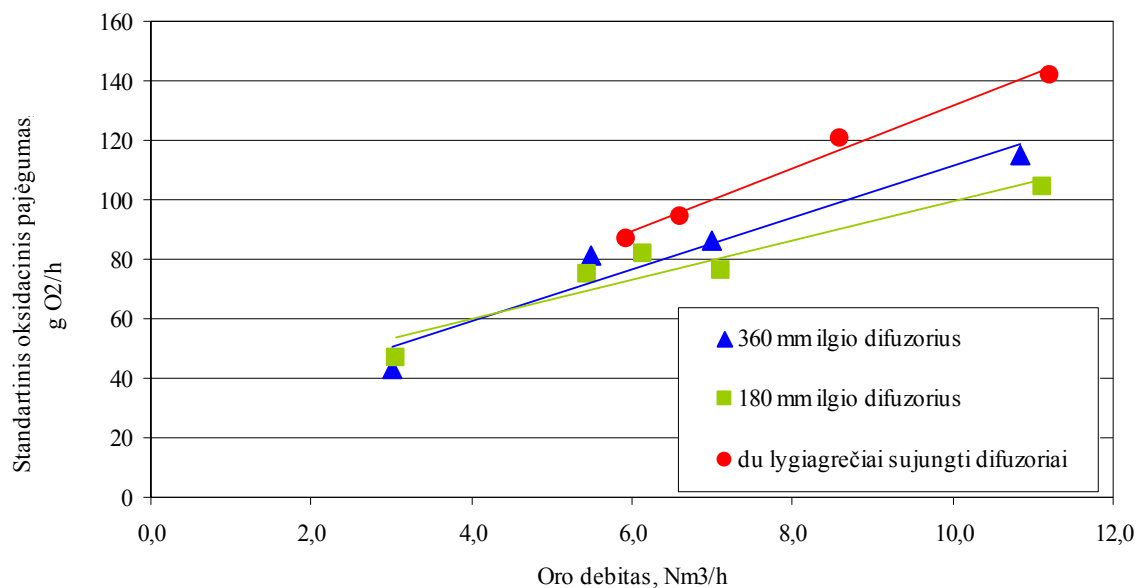
Toks difuzorių darbo parametrų skirtumas galėjo susidaryti dėl į viršų kylančio oro burbuliukų srauto užimamo tūrio skirtumo. Vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus atveju kylantis oro burbuliukų srautas užima mažesnę paviršiaus plotą negu horizontaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus atveju, tačiau abiem atvejais difuzorių perforuotas plotas yra vienodas. Taigi galima sakyti, kad abiem atvejais gaminamas vienodas burbuliukų skaičius, tačiau, kai difuzorius sumontuotas vertikaliai, kylantis oro burbuliukų srautas užima mažesnę paviršiaus plotą, dėl ko jie galimai susijungia į didesnius burbuliukus, o tai blogina deguonies perdavimą.

2.4.3. Vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus įtaka aeravimo sistemos darbo parametrams

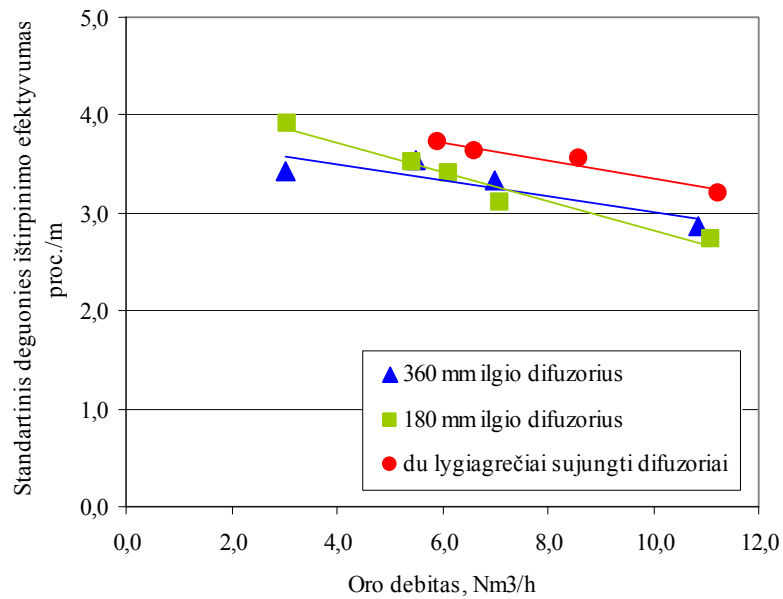
Bandymų metu buvo nustatyta, kokią įtaką vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus darbo efektyvumui turi jo ilgis. Tam buvo atlikti deguoninimo bandymai su 180 mm ir 360 mm ilgio difuzoriais. Taip pat buvo atlikti bandymai su 500 mm ilgio difuzoriumi prie vienos tiekiamo oro debito reikšmės, tačiau kadangi šių bandymų metu gautos difuzoriaus darbo parametrų reikšmės sutapo su 180 ir 360 mm ilgio difuzorių bandymų rezultatais, tyrimai su 500 mm ilgio difuzoriumi toliau tęsiami nebuvo.

Taip pat siekiant išsiaiškinti, kokią įtaką deguonies perdavimui turi difuzorių skaičius, oras buvo tiekiamas į du lygiagrečiai sujungtus vamzdivius difuzorius. Vertikaliai sumontuotų vamzdivių difuzorių darbo parametrų priklausomybė nuo jų ilgio ir skaičiaus pavaizduota 2.14–2.16 pav.

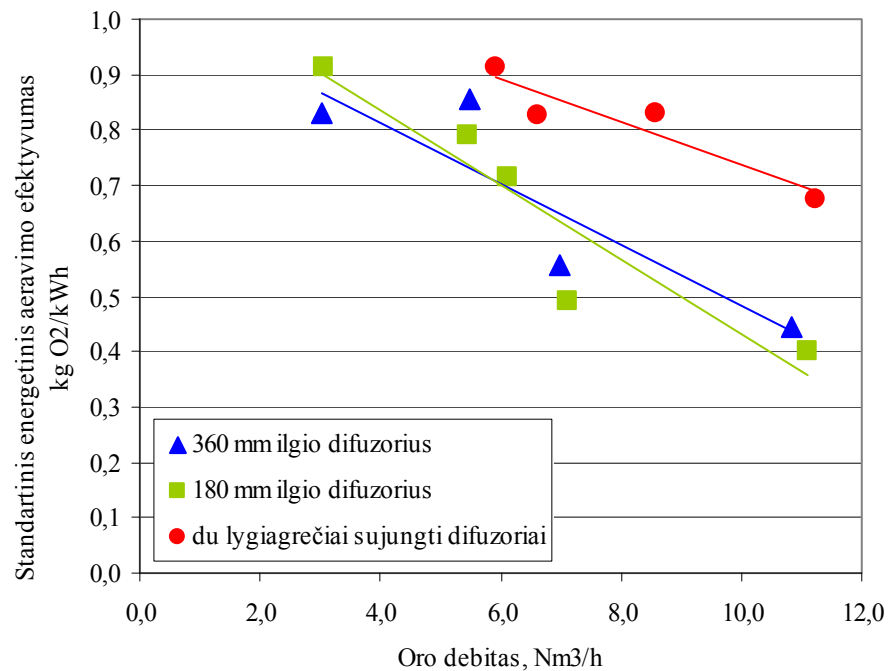
Visi bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova.



2.14 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus



2.15 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus



2.16 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo vamzdinio difuzoriaus ilgio ir difuzorių skaičiaus

Kaip matyti iš 2.14–2.16 pav., vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus ilgis difuzoriaus darbo parametrams įtakos neturi: esant tam pačiam debitui, 180 mm ir 360 mm ilgio

difuzorių darbo parametrai sutampa. Tai paaiškinama tuo, kad, nepriklausomai nuo vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus ilgio, kylantis oro burbuliukų srautas užima tokį patį paviršiaus plotą, todėl difuzoriaus darbo parametrai nuo jo ilgio nepriklauso.

Tuo tarpu tiekiant orą į du lygiagrečiai sujungtus vertikaliai sumontuotus vamzdinius difuzorius, kylančio oro burbuliukų srauto užimamas paviršiaus plotas yra dvigubai didesnis negu vieno difuzoriaus atveju, todėl bandymų metu gautos aeravimo sistemos, sudarytos iš dviejų difuzorių, darbo charakteristikos yra didesnės negu vieno difuzoriaus atveju.

Renkantis membraninį difuzorių svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad kuo trumpesnis jis yra, tuo mažesnę oro debitą per jį galima tiekti. Priešingu atveju per didelis oro debitas išstamps membraną. Pvz., šiame darbe tirtųjų vamzdinių difuzorių gamintojas nurodo, kad per 750 mm ilgio difuzorių galima tiekti 2–9 m³/h oro debitą, tuo tarpu per 500 mm ilgio difuzorių galima tiekti tik 1–6 m³/h oro debitą (priedas 1). Taigi nors vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus darbo parametrams ilgis įtakos neturi ir taupymo sumetimais būtų tikslinga rinktis trumpesnį difuzorių, reikia atsižvelgti į tai, koks turi būti tiekiamas oro debitas, ir pagal jį pasirinkti, kokio ilgio turėtų būti difuzorius.

2.4.4. Aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo įtaka aeravimo sistemos darbo parametrams

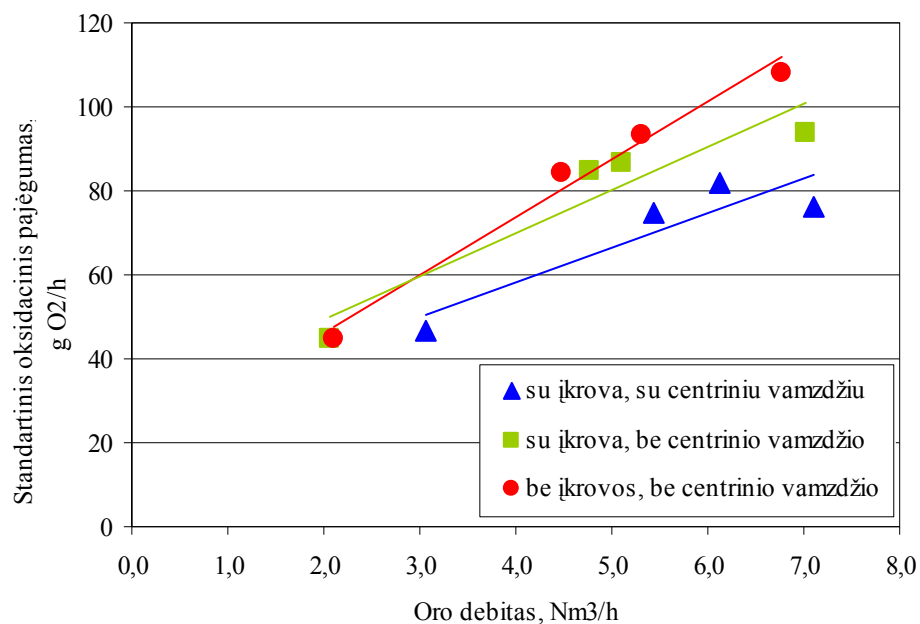
Bandymų metu buvo nustatyta, kokią įtaką aeravimo sistemos darbo efektyvumui turi aerotanko konstrukcija. Visų bandymų metu tyrimai buvo atliekami rezervuare, kuris yra sumažinta realiai rinkoje egzistuojančio mažo nuotekų valymo įrenginio kopija (2.1 pav.). Vertikaliai sumontuotas vamzdinis difuzorius montuojamas 0,2 m skersmens centriniame vamzdyje, kurio paskirtis yra apsaugoti difuzorių. Tikromis sąlygomis šiuo vamzdžiu dalis nusėdusio dumblo difuzoriaus sukeltu oro srautu yra pakeliama į viršų ir grąžinama atgal į aerotanką, per jį taip pat periodiškai yra išsiurbiamas perteklinis dumblas. Būtent ši aerotanko konstrukcija ir privertė susimąstyti, ar aerotanko konstrukcija gali turėti įtakos aeravimo sistemos darbo parametrams. Kadangi difuzorius yra centriniame vamzdyje, tiekiamas oras ne iš karto paskleidžiamas vandens tūryje, didelė dalis oro pirmiausia turi pakilti centriniu vamzdžiu į paviršių, o tai gali sumažinti aeravimo sistemos efektyvumą.

Aerotanko konstrukcijos įtakai įvertinti buvo atlikti tyrimai su 180 mm ilgio vertikaliai sumontuotu vamzdiniu difuzoriumi aerotanke su centriniu vamzdžiu ir nesant centrinio vamzdžio.

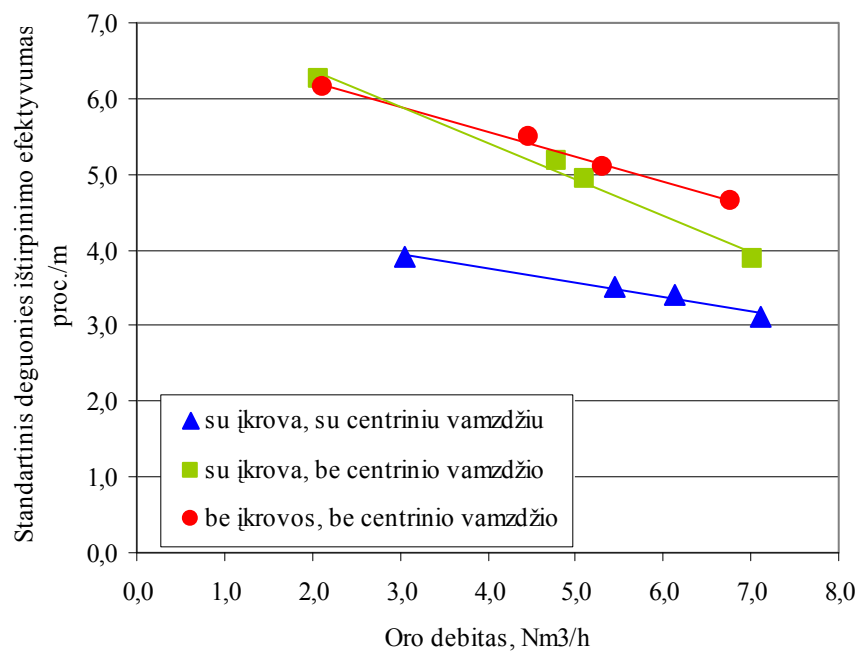
Taip pat buvo patikrinta, kaip difuzoriaus darbo parametrus veikia nejudančios įkrovos buvimas aerotanke. Tam buvo atlikti tyrimai su 180 mm ilgio vertikaliai sumontuotu vamzdiniu difuzoriumi, kai aerotanke yra įkrova ir kai ji yra išimta.

Jing *et al.* (2009) tyrė birios plastikinės tuščiavidurės įkrovos įtaką deguonies perdavimui reaktoriuje su judančiu laikmeniu (angl. *Moving Bed Biological Reactor*) ir nustatė, kad reaktoriuje su įkrova deguonies perdavimo koeficientas ir standartinis oksidacinis pajėgumas buvo geresni negu nesant įkrovos, o geriausi rezultatai pasiekti (dvigubai didesnis oksidacinis pajėgumas), kai įkrova užima 40 % reaktoriaus tūrio. Autoriai aiškina tai dvejopai. Pirma, oro burbuliukai keliaudami per įkrovoje esančius kanalus skyla į mažesnius burbuliukus, burbuliukų paviršiaus plotas padidėja, o dėl to padidėja ir oksidacinis pajėgumas. Antra, dėl aeravimo įkrova yra išjudinama ir turbulencija pagreitina oro ir nuotekų sąveiką. Tačiau, kai įkrova užima daugiau negu 40 % reaktoriaus tūrio, jai jau yra sunku judėti aerotanke, dėl to turbulencija ir savo ruožtu oksidacinis pajėgumas sumažėja. Nejudančios įkrovos atveju deguonies perdavimui įtakos gali turėti tik pirmas veiksnys, kadangi nejudanti įkrova jokių būdu nuotekų išmaišymo nepagerins.

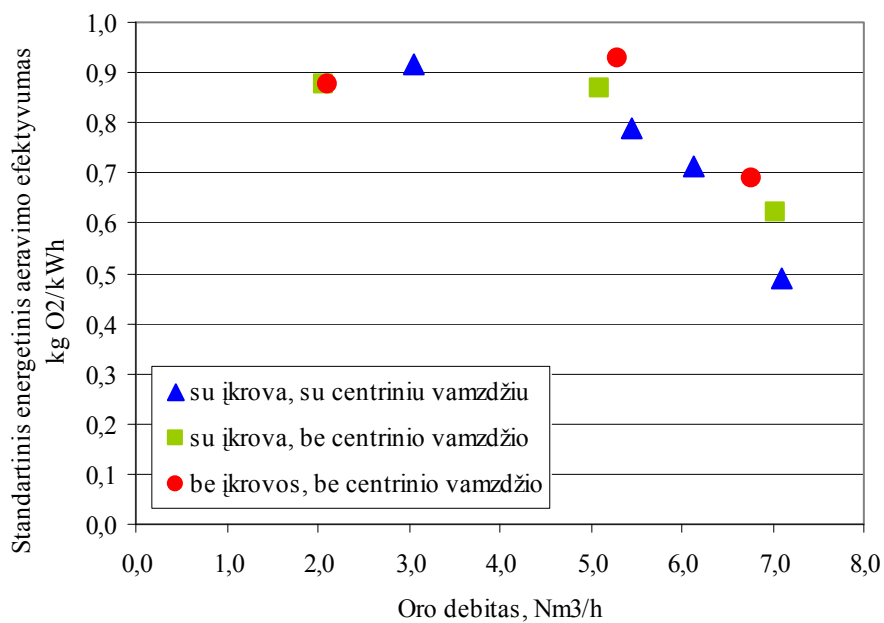
Difuzorių darbo parametrų priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo aerotanke pavaizduota 2.17–2.19 pav.



2.17 pav. Standartinio oksidacinio pajėgumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo



2.18 pav. Standartinio deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo



2.19 pav. Standartinio energetinio aeravimo efektyvumo priklausomybė nuo aerotanko konstrukcijos ir nejudančios įkrovos buvimo

Iš 2.17–2.19 pav. matyti, kad iš bandymų rezervuaro išėmus centrinių vamzdžių, aeravimo sistemos standartinis oksidacinis pajėgumas ir standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas

padidėja maždaug 20 %. Tuo tarpu standartiniam energetiniam aeravimo efektyvumui aerotanko konstrukcija įtakos neturi.

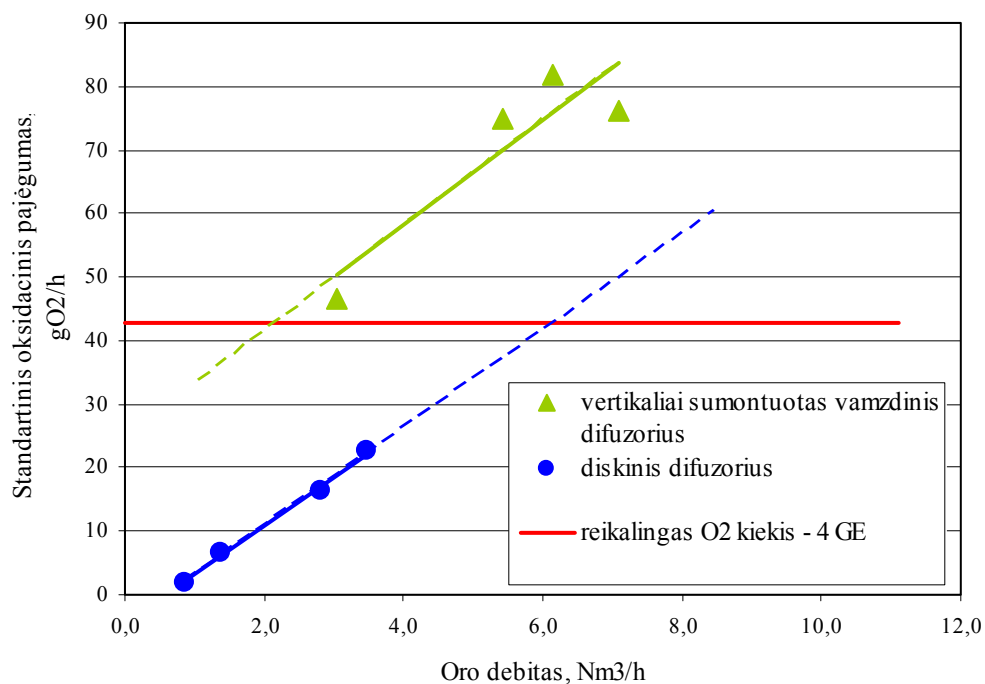
Taigi, kaip ir buvo manyta, centrinis vamzdis turi įtakos aeravimo sistemos darbo efektyvumui. Remiantis šiais rezultatais, galima padaryti keletą išvadų: pirma, geriausia, kad aerotanke darbinėmis sąlygomis nebūtų jokių trikdžių oro burbuliukams pasklisti nuotekose; antra, nuotekų valymo įrenginių gamintojas kiekvienu atveju prieš pasirinkdamas aeravimo sistemą, turi įvertinti tai, kad gamintojų deklaruojami standartiniai aeratorių darbo parametrai yra nustatomi tam tikrame standartizuotame rezervuare ir tikrosiomis sąlygomis aeratorius dėl bandymų rezervuaro ir aerotanko konstrukcijų skirtumo gali dirbti blogiau.

Vertinant nejudančios įkrovos buvimo aerotanke įtaką, iš 2.17–2.19 pav. matyti, kad įkrovos buvimas aerotanke neturi įtakos aeravimo sistemos darbui: tokios pačios aeravimo sistemų darbo charakteristikos gautos, kai aerotanke yra įdėta įkrova ir kai ji yra išimta.

2.4.5. Rinkoje egzistuojančių difuzorių darbo parametrų palyginimas

Bandymų metu taip pat buvo palygintas dviejų rinkoje egzistuojančių ir naudojamų mažuose nuotekų valymo įrenginiuose difuzorių (vertikaliai sumontuotas 180 mm ilgio vamzdinis difuzorius ir 73 mm skersmens diskinis difuzorius) standartinis oksidacinis pajėgumas. Bandymai buvo atliekami rezervuare su centriniu vamzdžiu ir įkrova. Remiantis ankstesnių tyrimų rezultatais, galima teigti, kad atlikus bandymus rezervuare be centrinio vamzdžio, standartinio oksidacinio pajėgumo reikšmės būtų didesnės.

Abiejų difuzorių standartinio oksidacinio pajėgumo kreivės pavaizduotos 2.20 pav.



2.20 pav. Rinkoje egzistuojančių difuzorių standartinis oksidacinis pajėgumas

Kaip matyti iš 2.20 pav., diskinio difuzoriaus standartinis oksidacinis pajėgumas yra maždaug 65 % mažesnis negu vamzdinio difuzoriaus. Taip yra dėl to, kad diskinio difuzoriaus efektyvus (perforuotas) plotas yra maždaug 8 kartus mažesnis negu vamzdinio difuzoriaus. Be to, diskiniame difuzoriuje skylutės, per kurias tiekiamas oras, yra daug didesnės ir jų yra žymiai mažiau negu vamzdinio difuzoriaus atveju.

Valant nuotekas, susidarančias vienos šeimos (t. y. 4 GE) gyvenamajame name, aeravimo sistemos standartinis oksidacinis pajėgumas, apskaičiuotas pagal Matuzevičiaus „Rekomendacijas biologiniams valymo įrenginiams projektuoti“ (2000), turi būti lygus 42,8 g O₂/h. Iš 2.20 pav. matyti, kad tokį deguonies poreikį vertikaliam sumontuotam vamzdiniam difuzoriui užtikrina esant maždaug 2 Nm³/h tiekiamo oro debitui. Tuo tarpu diskiniis difuzorius tokį oro kiekį patieks, tik kai tiekiamo oro debitas bus lygus maždaug 6 Nm³/h. Taigi, diskinio difuzoriaus atveju tam pačiam oro kiekiui patiekti reikės galingesnės orapūtės, dėl to išlaidos aeravimui diskinio difuzoriaus atveju bus didesnės.

Visų bandymų metu gauti rezultatai patvirtina difuzorių oksidacinio pajėgumo ir deguonies ištirpinimo efektyvumo priklausomybę nuo tiekiamo oro debito, aprašomą mokslinėje literatūroje,

o būtent, kad didinant tiekiamo oro debitą, difuzorių oksidacinis pajėgumas didėja, o deguonies ištirpinimo efektyvumas. Tuo tarpu bandymų metu didinant tiekiamo oro debitą, energetinis aeravimo efektyvumas mažėjo. Tokia priklausomybė prieštarauja mokslinėje literatūroje esančiam teiginiui, kad tiekiamas oro debitas energetiniam aeravimo efektyvumui įtakos neturi (Wagner ir Popel 1998, Rosso *et al.* 2008a).

Išvados

- 1) Didinant tiekiamo oro debitą, difuzorių oksidacinis pajėgumas didėja, o deguonies ištirpinimo efektyvumas ir energetinis aeravimo efektyvumas mažėja.
- 2) Tiekiant orą į vertikaliai sumontuotą vamzdinį difuzorių iš viršaus, aeravimo sistemos darbo parametrai yra geresni negu tiekiant orą iš apačios, tačiau skirtumas tarp aeravimo sistemos darbo parametrų, tiekiant orą iš viršaus ir iš apačios, neviršija 10 %.
- 3) Sumontavus vamzdinius difuzorius vertikaliai, jų standartinis oksidacinis pajėgumas sumažėja maždaug 20 %, o standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas – maždaug 25 %, lyginant su horizontaliu šių difuzorių montavimu. Toks darbo parametrų pablogėjimas paaiškinamas tuo, kad vertikaliai sumontavus vamzdinį difuzorių kylantis oro burbuliukų srautas užima mažesnę paviršiaus plotą negu horizontaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus atveju, tačiau abiem atvejais difuzorių perforuotas plotas yra vienodas. Taigi abiem atvejais gaminamas vienodas burbuliukų skaičius, tačiau, kai difuzorius sumontuotas vertikaliai, oro burbuliukų srautas užima mažesnę paviršiaus plotą, dėl ko burbuliukai galimai susijungia į didesnius burbuliukus, o tai blogina deguonies perdavimą.
- 4) Vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus ilgis difuzoriaus darbo parametrams įtakos neturi: esant tam pačiam debitui, 180 mm ir 360 mm ilgio difuzorių darbo parametrai sutampa. Tai paaiškinama tuo, kad vertikaliai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus atveju kylantis oro burbuliukų srautas užima tokį patį paviršiaus plotą nepriklausomai nuo to, koks yra difuzoriaus ilgis, todėl difuzoriaus darbo parametrai nuo jo ilgio nepriklauso.
- 5) Aeravimo sistemos darbo charakteristikos yra tiesiogiai proporcingos difuzorių skaičiui: tyrimų metu tiekiant orą į du lygiagrečiai sujungtus vertikaliai sumontuotus vamzdinius difuzorius buvo gauti geresni aeravimo sistemos darbo parametrai negu vieno difuzoriaus atveju. Tai paaiškinama tuo, kad dviejų difuzorių atveju kylančio oro burbuliukų srauto užimamas paviršiaus plotas yra dvigubai didesnis negu vieno difuzoriaus atveju.
- 6) Aerotanko konstrukcija turi įtakos aeravimo sistemos oksidaciniam pajėgumui ir deguonies ištirpinimo efektyvumui: iš bandymų rezervuaro išėmus centrinį vamzdį, aeravimo sistemos standartinis oksidacinis pajėgumas ir standartinis deguonies ištirpinimo efektyvumas padidėja maždaug 20 %.

- 7) Nejudančios įkrovos buvimas aerotanke neturi įtakos aeravimo sistemos darbui: tokie patys aeravimo sistemų darbo parametrai gauti, kai aerotanke yra įdėta įkrova ir kai ji yra išimta.
- 8) Palyginus dviejų rinkoje egzistuojančių ir mažuose nuotekų valymo įrenginiuose naudojamų difuzorių darbą, paaiškėjo, kad diskinio difuzoriaus standartinis oksidacinis pajėgumas yra maždaug 65 % mažesnis negu vertikalčiai sumontuoto vamzdinio difuzoriaus. Deguonies poreikį, reikalingą valant nuotekas iš vienos šeimos gyvenamojo namo (t. y. 4 GE), vertikalčiai sumontuotas vamzdinis difuzorius užtikrina esant maždaug 2 Nm³/h tiekiamo oro debitui. Tuo tarpu diskinis difuzorius tokį oro kiekį patieks, tik kai tiekiamo oro debitas bus lygus 6 Nm³/h. Taigi, diskinio difuzoriaus atveju tam pačiam oro kiekiui patiekti reikės galingesnės orapūtės, dėl to išlaidos aeravimui bus didesnės.

Rekomendacijos

- 1) Kadangi tyrimų metu nustatyta, kad vertikalčiai sumontavus vamzdinį difuzorių jo darbo parametrai priklauso nuo kylančio oro burbuliukų srauto užimamo paviršiaus ploto ir nepriklauso nuo difuzoriaus ilgio, ateityje tikslinga tyrimus pratęsti ir bandyti atsakyti į tokius klausimus:
 - Ar padidinus vamzdinio difuzoriaus skersmenį ir tokiu būdu padidinus kylančio oro burbuliukų srauto užimamą paviršiaus plotą, aeravimo sistemos darbo parametrai pagerės;
 - Koks, esant tam pačiam vamzdinio difuzoriaus skersmeniui, yra mažiausias galimas difuzoriaus ilgis, kuriam esant aeravimo sistemos darbo parametrai nepradės mažėti.
- 2) Kadangi tyrimais nustatyta, kad aerotanko konstrukcija turi įtakos aeravimo sistemos oksidaciniam pajėgumui ir deguonies ištirpinimo efektyvumui:
 - Aerotanke tikrosiomis sąlygomis neturi būti jokių trikdžių oro burbuliukams pasklisti nuotekose.
 - Nuotekų valymo įrenginių gamintojas kiekvienu atveju prieš pasirinkdamas aeravimo sistemą, turi atsižvelgti į tai, kad gamintojų deklaruojami standartiniai aeratorių darbo parametrai yra nustatomi tam tikrame standartizuotame rezervuare ir tikrosiomis sąlygomis aeratorius dėl bandymų rezervuaro ir aerotanko konstrukcijų skirtumo gali dirbti blogiau.

Literatūra

1. Capela, S.; Roustan, M.; Heduit, A. 2001. Transfer Number in Fine Bubble Diffused Aeration Systems, *Water Science and Technology* 43(11): 145–152.
2. Casey, T. J. 1997. *Unit Treatment Processes in Water and Wastewater Engineering*. Chichester: John Wiley and Sons. 280 p.
3. Cobalt Chloride: A Hazardous, Potentially Carcinogenic Pollutant. Presenting Facts and Alternatives to Cobalt Chloride [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 26 d.]. Prieiga per internetą: <<http://cobaltchloride.net/default.html>>.
4. Deronzier, G.; Duchene, Ph.; Heduit, A. 1998. Optimization of Oxygen Transfer in Clean Water by Fine Bubble Diffused Air System and Separate Mixing in Aeration Ditches, *Water Science and Technology* 38(3): 35–42.
5. *Design Manual: Fine Pore Aeration Systems* [interaktyvus]. 1989. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency [žiūrėta 2009 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <<http://yosemite.epa.gov/water/owrcCatalog.nsf/9da204a4b4406ef885256ae0007a79c7/09b3f5c6517432e885256b06007233c0!OpenDocument>>.
6. Droste R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. New York: John Wiley and Sons. 800 p.
7. Duchene, Ph.; Cotteux, E.; Capela, S. 2001. Applying Fine Bubble Aeration to Small Aeration Tanks, *Water Science and Technology* 44(2-3): 203–210.
8. Envirocan Wastewater Treatment Equipment Company Ltd. [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2010 m. gegužės 26 d.]. Prieiga per internetą: <http://envirocan.ca/envirocan_display/pictures%20Folder/Lakeside%20Pics.htm>.
9. Gillot, S., *et al.* 2005. Predicting Oxygen Transfer of Fine Bubble Diffused Aeration Systems – Model Issued from Dimensional Analysis, *Water Research* 39: 1379–1387.
10. Gillot, S.; Heduit, A. 2008. Prediction of Alpha Factor Values for Fine Pore Aeration Systems, *Water Science and Technology* 57(8): 1265–1269.
11. Henze, M., *et al.* 1996. *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. Berlin: Springer. 383 p.
12. Jantrania, A. R.; Gross, M. A. 2006. *Advanced Onsite Wastewater Treatment Systems Technologies*. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis. 261 p.

13. Jing, J. Y.; Feng, J.; Li, W. Y. 2009. Carrier Effects on Oxygen Mass Transfer Behavior in a Moving-Bed Biofilm Reactor, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* 4: 618-623.
14. Kaliman, A., *et al.* 2008. Fine-Pore Aeration Diffusers: Accelerated Membrane Ageing Studies, *Water Research* 42: 467-475.
15. Libra, J. A., *et al.* 2002. Comparison of the Efficiency of Large-Scale Ceramic and Membrane Aeration Systems with Dynamic Off-Gas Method, *Water Science and Technology* 46(4): 317–324.
16. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. spalio 8 d. įsakymas Nr. D1-515 „Dėl aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymo Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ pakeitimo“, *Valstybės žinios* 110-4522.
17. LST EN 12255–15:2004 Nuotekų valyklos. 15 dalis. Švaraus vandens deguoninimo matavimai veikliojo dumblo įrenginių aeravimo rezervuaruose. Vilnius, 2004. 16 p.
18. Matuzevičius, A. B. 2000. *Rekomendacijos biologinio valymo įrenginiams projektuoti*. Vilnius. 28 p.
19. Mechanical Aerator [interaktyvus]. 2009. [žiūrėta 2010 m. kovo 31 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.thewatertreatments.com/waste-water-treatment/mechanical-aerator>>.
20. Metcalf; Eddy. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4th edition. Boston: McGraw-Hill. 1818 p.
21. Mueller, J. A.; Boyle, W. C.; Popel, H. J. 2002. *Aeration: Principles and Practice*. Boca Raton: CRC. 368 p.
22. Rosso, D.; Larson, L. E.; Stenstrom, M. K. 2008. Aeration of Large-Scale Municipal Wastewater Treatment Plants: State of the Art, *Water Science and Technology* 57(7): 973–978.
23. Rosso, d.; Stenstrom, M. 2006. Surfactant Effects on α -Factors in Aeration Systems, *Water Research* 40: 1397–1404.
24. Rosso, D., *et al.* 2008. Membrane Properties Change in Fine-Pore Aeration Diffusers: Full-Scale Variations of Transfer Efficiency and Headloss, *Water Research* 42: 2460–2648.

25. Sanchez-Monedero, M. A., *et al.* 2008. Effect of the Aeration System on the Levels of Airborne Microorganisms Generated at Wastewater Treatment Plants, *Water Research* 42: 3739–3744.
26. STR 2.02.05:2004 Nuotekų valyklos. Pagrindinės nuostatos. Vilnius, 2004. 81 p.
27. Wagner, M. R.; Popel, H. J. 1998. Oxygen Transfer and Aeration Efficiency – Influence of Diffuser Submergence, Diffuser Density, and Blower Type, *Water Science and Technology* 38(3): 1–6.
28. Wagner, M.; Hoessle, R. 2004. Biological Coating of EPDM-Membranes of Fine Bubble Diffusers, *Water Science and Technology* 50(7): 79–85.
29. Wagner, M. R.; Popel, H. J.; Kalte, P. 1998. Pure Oxygen Desorption Method – A New and Cost-Effective Method for the Determination of Oxygen Transfer Rates in Clean Water, *Water Science and Technology* 38(3): 103–109.
30. Дорошев, В. Д.; Лось, В. Ю. 2000. Оборудование и приборы для исследования аэраторов, *Водоснабжение и санитарная техника* 12(2): 20–22.
31. Мешенгиссер, Ю. М.; Марченко, Ю. Г.; Чернуха, В. А. 2000. Аэраторы АКВА-ТОР и комбинированные системы аэрации, *Водоснабжение и санитарная техника* 12(2): 11–13.

Priedas 1.



Data Sheet

JetFlex® Tube Diffuser - TD 63

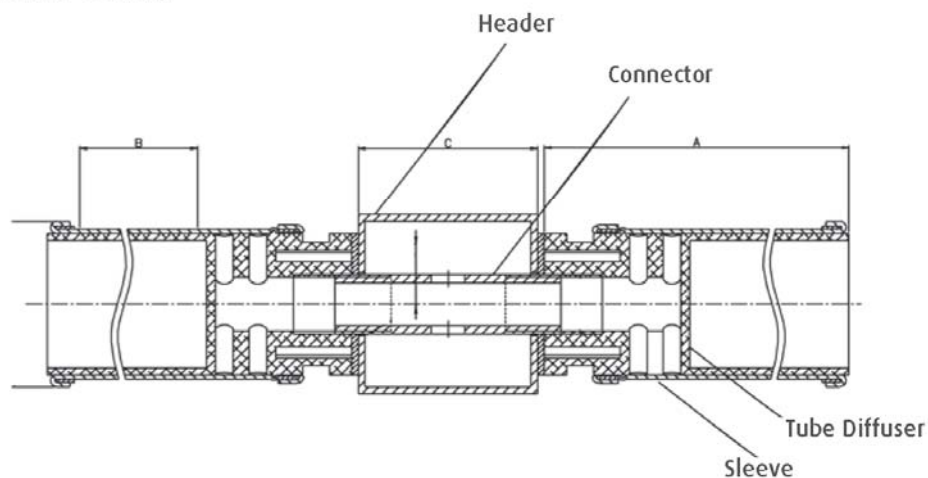
EPDMperformance J34



Jäger Group of Companies

Specifications

Installation drawing



Dimensions

Type	Perforation length (B)	Total length (A)	Tube diameter	ID-Sleeve	Wall thickness	Perforated area	Total weight
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kg]
TD 63/2100	1000	1060	63	64 - 66	1,9 ±0,15	0,18	1,3
TD 63/2075	750	810	63	64 - 66	1,9 ±0,15	0,135	1,1
TD 63/2050	500	560	63	64 - 66	1,9 ±0,15	0,09	0,8

Air flow

Type	Air flow rate at standard operation conditions	max overload/ maintenance air flow rate	Operating temperature	Operation mode	Application
	[m _N ³ /h]	[m _N ³ /h]	[°C]		
TD 63/2100	3 - 12	20	0 - 80	intermittent continuous	municipal waste water
TD 63/2075	2 - 9	15	0 - 80	intermittent continuous	municipal waste water
TD 63/2050	1 - 6	10	0 - 80	intermittent continuous	municipal waste water

- Shutdown of operation is highly recommended for air flow rates lower than minimum rate.
- Overload air flow rate (e.g. cleaning) should not be applied longer than 10 min/day.
- Numbers are for guidance only. Operating diffusers at too high or too low an airflow rate may reduce lifetime or performance. See Technical Report 'Slit size for aeration membranes' for details.



Dimensions for threads and connector

Connector	Colour code	Connector length square tube 80 x 80 mm [C]	Connector length square tube 100 x 100 mm [C]	Hole diameter for connector
		[mm]	[mm]	[mm]
1" Whitworth 3/4" Whitworth 3/4" NPI (for TD 63/2050 only)	blue green grey	130 130 -	150 150 -	35 +/- 1 28 +/- 1 -

Membrane material

Type Colour	EPDM performance J34 Black	
Polymer	33 %	
Carbon black	20 %	
Plasticiser	35 %	
Others	12 %	
Density	DIN EN ISO 1183-1:2004	1,09 ± 0,03 g/cm ³
Tensile strength	DIN 53504	> 6,0 MPa
Elongation at break	DIN 53504	> 400%
Tear strength	DIN EN ISO 34-1:2004	> 6 N/mm
Hardness	DIN 53505; ASTM D2240	40 ± 5 Shore A
Tension set	DIN ISO 2285:2003-07 100% Elongation; 24 h, RT	< 7%

Materials

Material Sleeve	Material Tube	Material Diffuser Head	Clamp	Gasket	Connector
EPDM	PP	PP GF 30	V2A (Stainless Steel 1.4301)	4 mm EPDM (Others on request)	V2A (1.4301) SS 304

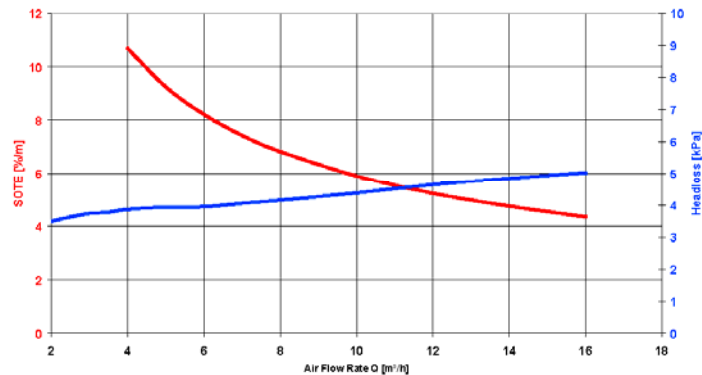
Shipping unit

Type	Shipping unit	Dimensions L x W x H	Unit weight	Unit per pallet	Pallet size	Pallet weight
		[mm]	[kg]		[mm]	[kg]
TD 63/2100	66 pcs.	1170 x 780 x 420	90	3	max 1200 x 800 x 1400	283
TD 63/2075	45 pcs.	840 x 630 x 360	52	2, 4, 6	max 1280 x 840 x 1250	max 327
TD 63/2075	45 pcs.	840 x 630 x 360	52	1, 2	max 840 x 640 x 850	max 119
TD 63/2050	60 pcs.	840 x 630 x 360	50	2, 4, 6	max 1280 x 840 x 1250	max 315
TD 63/2050	60 pcs.	840 x 630 x 360	50	1, 2	max 840 x 640 x 850	max 115



Specifications

Standard oxygen transfer efficiency (SOTE) and headloss for TD 63 EPDM performance J34 1000 mm



Water depth	4,50 m
Submergence depth	4,20 m
Atmospheric pressure	1.013 hPa
Water temperature	19,7 °C

Test media	tap water
Test tank	bubble column
Tank volume	5,09 m³
Tank floor area	1,13 m²
$C_{S,1}$	11,01 mg/l

Test conditions SOTE acc. to German Standard DWA M 209 (desorption method) Certificate ISAH, University Hanover, measuring tolerance +/- 1% Headloss internal tests tolerances +/- 5%

Storage:

- Diffuser and/or rubber sleeves must be stored factory-packed in a dark, dry, ventilated and dust-free storage space according to DIN 7716. Avoid frost, heat, UV/radiation, dust and working which can cause damage of diffuser and/or packing.
- Do not store outdoors! The storage of rubber parts until installation/starting operation should not exceed one year. At on-site delivery, all rubber and plastic parts must be stored in their original packaging. Crates exposed to direct sunlight must be covered with tarpaulin to protect against UV-radiation.

Maintenance:

Diffusers can only be checked, if the activated sludge tank is out of work and empty. That is why normal cleaning must be done at work. Formic acid is used very successfully against carbonating. To keep the pores open, formic acid is sprayed into the compressed air for a short time. Also a regular use with maximum air flow for a short time helps keep the diffuser in good conditions for a long time. (refer to Maintenance Manual)

Membrane lifetime:

More than 5 years in municipal waste water treatment plants, depending on waste water influent and operation condition.

Disclaimer: This information is based on our present state of knowledge and is intended to provide general notes on our products and their uses. It should not therefore be construed as guaranteeing specific properties of the products described or their suitability for a particular application. Any existing industrial property rights must be observed. The quality of our products is guaranteed under our General Condition of Sale.

JUT-DS-00030-EN_2009_09

Jäger Umwelt-Technik GmbH & Co. KG
Rothwiese 4
30559 Hannover, Germany
Phone: (+49)511 898668-0
Fax: (+49)511 898668-99
www.jaeger-envirotech.com
info@jaeger-envirotech.com

Jaeger Rubber and Plastics (Shenzhen) Ltd.
1/E, No. A13 Factory Building
Silicon Valley – Automobile Industry Park
Guanlan, Baoan, Shenzhen,
China 518110
Phone: +86 755 29832412
Fax: +86 755 29832413
www.jaeger-shenzhen.cn
info@jaeger-shenzhen.cn

