



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Arvydas Matutis

**AERAVIMO SISTEMOSE SŪKURINIO VAMZDŽIO PANAUDOJIMO
GALIMYBIŲ TYRIMAS**

**RESEARCH OF APPLICATION OF VORTEX TUBE FOR AERATION
SYSTEM**

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos studijų programa

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas lek. dr. V.Striška

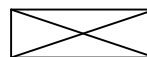
Vilnius, 2005

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mašinų gamybos katedra

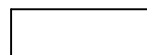
ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2005 05 31

Magistrantūros baigiamasis darbas (tezės)
Aeravimo sistemos sukurinio vamzdžio panaudojimo galimybių tyrimas
Arvydas Matutis

Kalba



lietuvių



užsienio

Šiuo metu labai populiarėja mažo galingumo biologiniai nuotekų valymo įrenginiai Darbe išnagrinėtas biologinis nuotekų valymas. Aptarti veiksniai kurie įtakoja išvalymo efektyvumą. Darbe siūloma temperatūros reguliavimui naudoti sukurinį vamzdį kaip šilumos ir šalčio generatorių. Atlikti šildymo, šaldymo teoriniai skaičiavimai, bei patikrinti bandymais jų tikslumas. Gauti rezultatai leidžia teigti jog sukurinis vamzdis gali būti naudojamas biologinio valymo įrenginiuose nuotekų temperatūrai kontroliuoti.

Reikšminiai žodžiai
Aeratorius, sukurinis vamzdis, nuotekos

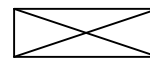
.

Vilnius Gediminas Technical University
Mechanics faculty
Mechanical engineering department

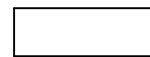
ISBN ISSN
No.of copies 2
Date 2005 05 31

Master studies diplom work (graduation theses)
Research of application of vortex tube for aeration system
Arvydas Matutis

Language



Lithuanian



Foreign

In this work is describe a biological waste water abstergent system and it works. Cleaning dependence from waste water temperature .. Tender waste water heating and freezing do with aeration so do confution expendable vortex effect. Done theorical waste water heating and freezing counts, and done proctical experimentation for check them. Got results show the vortex tube can be use for waste water temperature contol.

Key words
Aerator, vortex tube, waste water,

Turinys

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
IVADAS	7
1. NUOTEKŲ VALYMAS AKTYVIUOJU DUMBLU	8
1.1. Aktyviojo dumblo susidarymas.....	8
1.2. Įvairių veiksnių įtaka fermentacijos reakcijai.....	9
1.3. Veiksniai, lemiantys nuotekų išvalymo laipsnį	10
2. AERAVIMO SISTEMOS	11
2.1. Aeravimas.....	11
2.2. Veiksniai įtakojantys deguonies tirpumą vandenyje.....	16
3. PROBLEMOS APTARIMAS IR TYRIMO OBJEKTAS	19
3.1. Biologinio valymo metu atsirandančios problemos	19
4. ŠALTO IR ŠILTO ORO RUOŠIMO SISTEMOS	22
4.1. Oro šildymas ir šaldymas	22
4.2. Siūlomas sūkurinio vamzdžio panaudojimas	23
4.3. Sūkurinis vamzdis.....	24
4.4. Sūkurinio vamzdžio konstrukcijos variantiškumas.....	25
4.5. Sūkurinio vamzdžio panaudojimo analizė.....	31
5. EKSPERIMENTINĖ DALIS	34
5.1. Reikalingas energijos kiekis šildyti bei šaldyti nuotekas.....	34
5.2. Eksperimentui reikalingas šildymo ir šaldymo energijos kiekis	36
5.2.1. Šilumos kiekis vandeniui šildyti.....	36
5.2.2. Šilumos kiekis vandeniui ataušinti.....	37
5.3. Sūkurinio vamzdžio skaičiavimas.....	38
6. EKSPERIMENTAS, JO IR REZULTATŲ PALYGINIMAS	42
IŠVADOS	49
LITERATŪRA	50
1. PRIEDAS A.Matutis, vadovas V.Striška. Aeravimo sistemose sūkurinio vamzdžio panaudojimo galimybių tyrimas. Jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo-Lietuva be ateities“ Mechanikos inžinerijos sekcijos medžiaga.	51

Paveikslų sąrašas

1 pav. Mikrobinės kultūros augimo schema.....	9
2 pav. Bakterijų grupių augimo priklausomybė nuo temperatūros.....	10
3 Pav. Lėkštinis aeratorius.....	13
4 pav. Filtrosinis vamzdis	13
5 pav. aliuminio keramikos aeratorius.....	14
6 pav. Spargem aeratorius.....	15
7 pav. Nuotekų temperatūros kitimas paros metu.....	19
8 pav. Klasikinis nuotekų valymo įrenginys	21
9 pav. Oro šildymo šaldymo sistemos schema.....	22
10 pav. Nuotekų valymas panaudojant sūkurinį vamzdį schema.....	23
11 pav. Sūkurinio vamzdžio schema.....	24
12 pav. Sūkurinis vamzdis	26
13 pav. Sūkurinis vamzdis	27
14 pav. Sūkurinis vamzdis EXAIR.....	28
15 pav. Sūkurinis vamzdis su aušinimu.....	29
16 pav. Šaldymas suvirinant.....	31
17 pav. Liejimo operacijos.....	32
18 pav. Metalo apdirbimas.....	32
19 pav. Plastikų pjaustymas.....	33
20 pav. Gręžimo sriegimo operacijos.....	33
21 pav. Sūkurinio vamzdžio sukuriama temperatūra.....	43
22 pav. Sūkurinio vamzdžio sukuriama energijos kiekis per 1 val.....	44
23 pav. Vandens temperatūros kitimo kreivės.....	45
24 pav. Stendo bendras vaizdas šaldant.....	46
25 pav. Stendo bendras vaizdas šildant.....	47
26 pav. Energijos kiekių palyginimas.....	48

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Koeficiento K_1 ir $I_{\max}$ dydžiai.....	17
2 lentelė. Koeficiento K_2 ir $I_{\min}$ dydžiai.....	17
3 lentelė. Šukurių generatoriaus konstrukciniai variantai.....	30
4 lentelė. Šukurinio vamzdžio matavimo rezultatai.....	43
5 lentelė. Šildymo šaldymo eksperimento rezultatai.....	44

Išvadas

Individualių namų ūkių skaičius nuolat didėja, tuo pačiu atsiranda nuotekų valymo problemų tose vietose. Nesant centralizuotos nuotekų surinkimo sistemos, kur iki šiol taikomas vienintelis sprendimas – išsiurbimas iš rezervuarų. Šiuo atveju logiška ir ekonomiškai alternatyva diegti kompleksinę valymo sistemą. Priemiesčių ir kaimo vietovėse, kuriose mažas apstatymo tankumas ir centralizuotas nuotekų valymo sistemos įrengimas yra neekonomiškas. Buitinių nuotekų tvarkymui skiriama daug dėmesio tiek mūsų, tiek kaimyninėse šalyse. Ištirti ir apskaičiuoti buitinių nuotekų kiekius, tenkantys vienam gyventojui. Įvertintas jų užterštumo lygis priklausomai nuo susidarymo sąlygų.

Kaupiant nuotekas rezervuaruose ir jas transportuojant, atsiranda pavojus, jog nuotekos gali patekti į paviršinius vandenis (tvenkiniai, upės, t.t.). Vandens telkinių, dirvožemio apsaugos, jų racionalaus naudojimo problemos glaudžiai susijusios su nuotekų valymu. Teršalų koncentracijai valymo įrenginiuose sumažinti daug reikšmės turi biologinio valymo įrenginiai, kuriuose teršalus – organines medžiagas – suskaido bakterijos naudodamos jas mitybai. Nuotekų pirminis valymas yra svarbus mikrobiologinis procesas. Pagrindinis vaidmuo valant nuotekas tenka mikroorganizmams. Jie savo fermentais skaido organines medžiagas, paverčia jas mineraliniais junginiais.

Kad bakterijos galėtų augti, joms reikia tiekti oro ir palaikyti nuotekų temperatūrą +18 °C.

Darbo aktualumas. Priklausomai nuo nuotekų temperatūros kitimo paros metu, taip pat kinta ir nuotekų temperatūra valymo įrenginyje. Siekiant, kad sėkmingai vyktų mikroorganizmų dauginimasis, biologinio valymo metu rezervuare turi būti palaikoma temperatūra +18°C, nes padidėjus ar sumažėjus temperatūrai lėtėja mikroorganizmų dauginimasis. Todėl atsiranda poreikis reguliuoti, bei kontroliuoti rezervuare esančių nuotekų temperatūrą.

Darbo tikslas – ištirti galimybes panaudoti sukurtą vamzdį nuotekų temperatūrai reguliuoti per aeravimo sistemą.

Darbo naujumas – tokių bandymų panaudojant sukurtą vamzdį aeravimo sistemose nebuvo atlikta. Šis darbas turi patentinį naujumą.

1. NUOTEKŲ VALYMAS AKTYVIUOJU DUMBLU

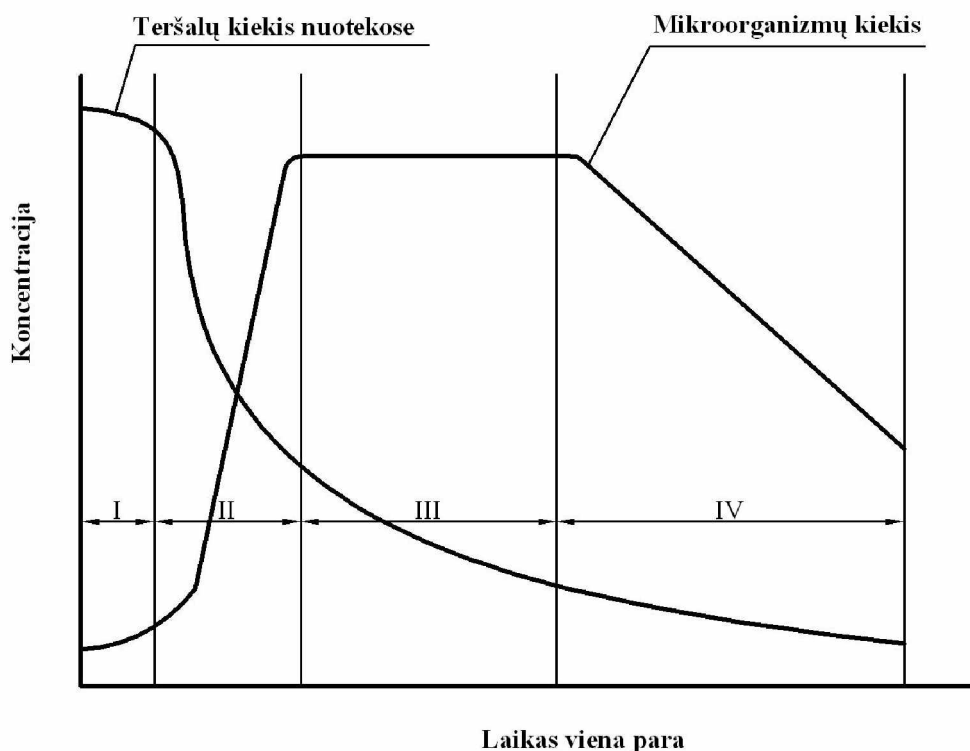
1.1. Aktyviojo dumblo susidarymas

Aeruoiant nuotekas, susidaro palankios sąlygos augti įvairioms mikrobinėms kultūroms, esančioms nuotekose ir patenkančioms į jas iš aplinkos. Mikrobinių kultūrų rūšių augimas priklauso nuo nuotekose esančių organinių medžiagų cheminės sudėties bei koncentracijos, vandens temperatūros maišymo intensyvumo ir kt. veiksnių. Mikrobinės kultūros bakterijos sudaro aktyvųjį dumblą. Aktyvusis dumblas, dalyvaujant fermentams, nuotekų teršalus naudoja maistui ir juos oksiduoja iki anglies dvideginio, vandens, nitritų, nitratų, fosfatų ir kt.[18]

Valymo procese auga įvairios bakterijų rūšys. Bakterijų rūšis priklauso nuo nuotekų sudėties. Palaikant aktyviajam dumbliui būtinas augimo sąlygas gali augti nuo vienos iki 5-8 rūšių bakterijų. [3] Valant tas pačias nuotekas bakterijų skaičius procentais gali kisti priklausomai nuo aktyviojo dumblo apkrovos (teršalų kiekį, tenkantį 1g aktyviojo dumblo sausų medžiagų per parą), aplinkos temperatūrą, ir kt.

Mikroorganizmai naudojami nuotekų valymo procese dėl greito jų dauginimosi ir todėl intensyviai naudojami teršalai. Mikroorganizmų dauginimosi greitis priklauso nuo daugelio veiksnių, bet pagrindinis — tai maisto (teršalų) kiekis. Todėl mikroorganizmų augimo dinamika, jų fiziologinis būvis bus skirtingas, priklausomai nuolat ar periodiškai tiekiami teršalai. Periodiškai tiekiant teršalus su nuotekomis, pradinio momentu mikroorganizmai auga, turėdami maisto perteklių. Mikroorganizmai skaido teršalus, kurių koncentracija palaipsniui mažėja. Susidaro heterogeninė (nevienarūšė) mikrobinė kultūra, kurios augimo dinamika pavaizduota 1 pav. [10] Sumaišius mikrobinę kultūrą su nuotekomis ir aeruojant mišinį, išskiriamos mikroorganizmų augimo 4 fazės I fazė vadinama „lag“ faze (prisitaikymo, adaptacijos: angliškai "lag" - prisitaikymas). Šios fazės trukmė priklauso nuo to, ar mikroorganizmai išauginti toje pat maitinamojoje terpėje, ar ne. Po mikroorganizmų adaptacijos prasideda intensyvus jų augimas, t.y. II fazė. Ši fazė vadinama eksponentine. Šioje fazėje mikroorganizmai auga intensyviausiai, nes yra maisto perteklius ir mažai metabolizmo produktų, stabdančių mikroorganizmų augimą. Mikroorganizmų skaičiaus didėjimą riboja tik jų dauginimosi greitis. Po tam tikro laikotarpio terpėje sumažėja maisto. Jį sunaudoja mikroorganizmai. Todėl palaipsniui mikroorganizmų augimo greitis pereinama į stacionarią fazę (III). Mikroorganizmų masė lieka pastovi. Šios fazės pabaigoje

beveik visai suskaidomi teršalai ir mikroorganizmų augimas pereina į IV fazę (endogeninio kvėpavimo). Iš pradžių lėtai, o po to greitai sumažėja ląstelių skaičius, nes dėl maisto trūkumo ląstelių nunyksta daugiau, negu jų priauga. [10]



1 pav. Mikrobinės kultūros augimo schema

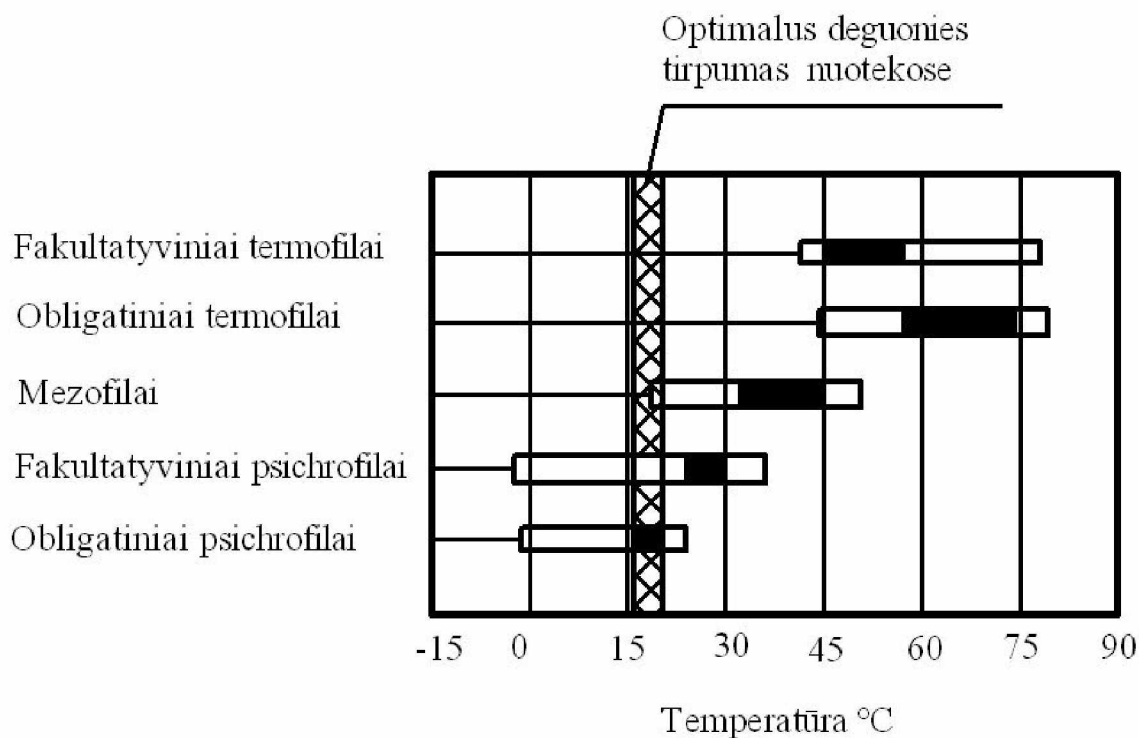
1.2. Įvairių veiksnių įtaka fermentacijos reakcijai

Fermentacijos reakcijos greičiui, organinių medžiagų suskaidymo laipsniui įtakos turi fermento ir substrato koncentracijos, temperatūra, pH, stimuliatorių skaičius ir kiti veiksniai.

Temperatūra turi įtakos fermentacijos reakcijų greičiui, metabolizmo pobūdžiui, maistinių medžiagų kiekiui, kurio reikia mikroorganizmams, biomasės sudėčiai bei kiekiui. Temperatūros įtaka biomasės didėjimui ir jos aktyvumui aiškinama tuo, kad dėl temperatūros kinta medžiagų (baltymų, lipidų), įeinančių mikroorganizmų ląstelių sudėty, struktūra, reakcijų greičio temperatūros koeficientai. Priklausomai nuo palaikomos temperatūros auga tam tikros bakterijų grupės (2 pav.) [3]

pH įtaka fermentų aktyvumui gali pasireikšti, tiesioginiu arba netiesioginiu poveikiu fermentų centrų jonogeninėms grupėms ar Fermentų baltymų molekulių struktūros pokyčiu

Inhibitorių įtaka. Inhibitoriai gali tiesiogiai veikti fermentų centrus arba jungtis su fermento molekulėmis. Inhibitorių poveikis fermentacijos reakcijoms gali būti grįžtamas, negrįžtamas ar tarpinis tarp grįžtamų ir negrįžtamų poveikių.



2 pav. Bakterijų grupių augimo priklausomybė nuo temperatūros

■ optimali temperatūra

Nuotekų išvalymo efektyvumas valymo įrenginiuose su aktyviuoju dumblu priklauso nuo nuotekų teršalų sudėties, hidrodinaminių nuotekų su aktyviuoju dumblu maišymo sąlygų, teršalų (maistinių medžiagų) ir mikroorganizmų kiekių santykio, deguonies, temperatūrinio ir pH režimo įrenginyje ir kt. medžiagų kiekio. Kai kurios iš minėtų sąlygų gali būti keičiamos technologiniam procesui reguliuoti.

1.3. Veiksniai, lemiantys nuotekų išvalymo laipsnį

Pagrindinę įtaką biocheminiams procesams turi nuotekų teršalų sudėtis, aktyviojo dumblo apkrova ištirpusio deguonies, palaikoma mikroorganizmų (aktyviojo dumblo) koncentracijos,

vandens pH, temperatūra, biogeninių, toksinių medžiagų koncentracijos.

Apie galimybę biologiškai valyti nuotekas sprendžiama pagal teršalų sudėtį. Ji įvertinama organinių teršalų koncentracija, išreikšta ChDS ir BDS ($\text{mg O}_2/\text{l}$). Biologinio valymo įrenginius galima taikyti, kai $\text{ChDS}/\text{BDS}_5 < 2 - 3$. Kuo didesnis santykis tarp ChDS ir BDS, tuo sunkiau oksiduojami teršalai ir tuo didesnis biologiškai išvalytų nuotekų BDS.[6]

Būtinų sąlygų mikroorganizmams nuolatinis deguonies tiekimas, kurį mikroorganizmai naudoja teršalams oksiduoti ir kvėpavimui. Todėl valymo procese deguonis turi būti tiekiamas taip, kad jo pakaktų teršalams oksiduoti ir kad koncentracija nebūtų mažesnė už minimalią. Nurodoma, kad biocheminiai procesai vystosi esant ištirpusio deguonies koncentracijai ne mažesnei už $0,25 \text{ mg/l}$. Optimalia ištirpusio deguonies koncentracija reikėtų laikyti 2 mg/l . Didinti deguonies koncentraciją netikslinga nes teršalų oksidavimo greitis didėja nežymiai, o energijos sąnaudos aeravimui padidėja iki kelių kartų. Mikroorganizmų veiklos aktyvumas priklauso nuo aplinkos, kurioje jie gyvena, temperatūros. [3] C. I. Ragovskaja nustatė, kad kuo aukštesnė temperatūra, tuo didesnis teršalų oksidavimo greitis. Kai temperatūra $37\text{--}40^\circ\text{C}$, įrenginių oksidacinis pajėgumas 60% didesnis, lyginant su oksidaciniu pajėgumu 20°C temperatūroje. Temperatūros padidėjimas už ribų, kuriose auga mikroorganizmai, sukelia jų žuvimą. Temperatūros kritimas mažiau pavojingas mikroorganizmams, nes jis sukelia tik laikiną mikroorganizmų veiklos sutrikimą. Labai nepageidautini staigūs temperatūros kitimai. Palaipsniui kintant temperatūrai, ypač jai krintant, mikroorganizmai adaptuojasi. Olandų mokslininkas Pasveras nustatė, kad krintant temperatūrai, mikroorganizmų oksidacinis pajėgumas mažėja, tačiau nuotekų valymo procese tada dalyvauja visi mikroorganizmai, esantys aktyviojo dumblo dribsniuose, o kai temperatūra aukštesnė, valymo procese dalyvauja mikroorganizmai, esantys dribsnių paviršiuje. [10] Esant žemoms temperatūroms adaptuotas aktyvusis dumblas gali suoksiduoti teršalus taip pat, o išvalymo efektas būna ne mažesnis, kaip esant aukštai temperatūrai. Nuotekų valymo įrenginiuose temperatūros įtaka biocheminiams procesams išreiškiama tokia priklausomybe.

$$k=k_{20}*1.047^{t-20} \quad (1)$$

čia: k_t ir k_{20} teršalų suoksidavimo greičio konstantos esant $t^\circ\text{C}$ ir 20°C [3]

Anot Ekenfelderio, optimali temperatūra biocheminėms reakcijoms 38°C . Tačiau didėjant temperatūrai, mažėja deguonies tirpumas vandenyje. Mažėjant deguonies tirpumui reikia daugiau tiekti oro į įrenginius ir sąnaudos nuotekoms valyti susidaro didesnės. Įvertinant sąnaudas deguoniui tirpinti ir biocheminių procesų greičius, optimali temperatūra $18 - 22^\circ\text{C}$ 2 pav.

Deguonis įrenginiuose su aktyviuoju dumblu naudojamas organinių teršalų oksidavimui,

naujų ląstelių sintezei, endogeniniam kvėpavimui, cheminiam teršalų oksidavimui, nitrifikacijai. Lyginamasis deguonies sunaudojimas mikroorganizmų endogeniniam kvėpavimui, organiniams teršalams oksiduoti, mikroorganizmų naujų ląstelių sintezei ir nunykusiems mikroorganizmams oksiduoti priklauso nuo palaikomos aktyviojo dumblo apkrovos, dumblo amžiaus ir temperatūros

2. Aeravimo sistemos

2.1. Aeravimas

Aeravimo paskirtis - maišyti nuotekas su aktyviuoju dumblu, dumblą palaikyti pakibusį ir tirpinti biocheminiams procesams reikalingą deguonį. Labiausiai paplitęs aeravimas suslėgtuoju oru, mechaniniais ir kombinuotaisiais aeratoriais. Ištirpinto deguonies kiekis turi atitikti biocheminiams procesams reikalingą deguonies kiekį. [10]

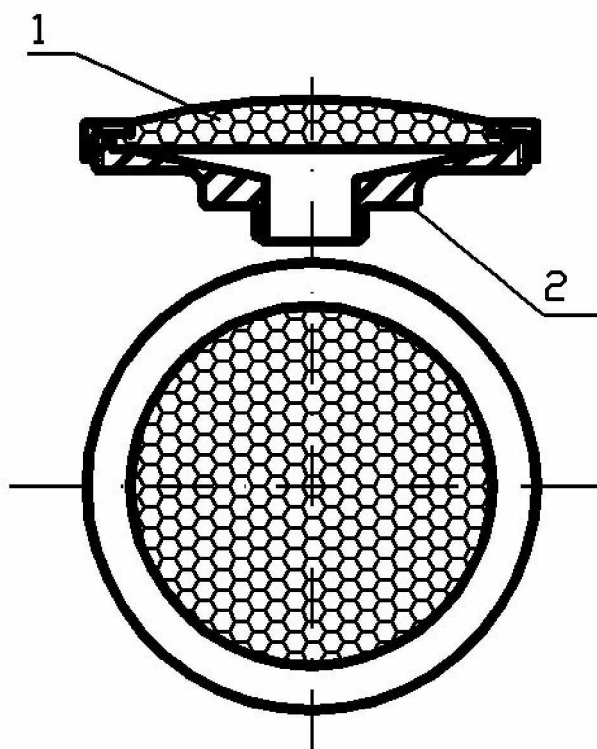
Pagal oro tiekimą bei tam naudojamą įrangą aeravimas būna:

- 1) pneumatinis;
- 2) mechaninis;
- 3) ežektorinis;
- 4) kombinuotasis.

Pneumatinio aeravimo sistemoje suslėgtasis oras tiekiamas orapūtėmis, kompresoriais, ventiliatoriais ir disperguojamas (smulkinamas) į burbuliukus aeratoriais. Pagal oro slėgį sistemoje pneumatinis aeravimas būna didelio (9,8 - 49 kPa) ir mažo (iki 9,8 kPa) slėgio. Disperguoto oro burbuliukai būna smulkūs ($\varnothing$ 1 - 4 mm), vidutiniai ($\varnothing$ 5 - 10 mm) ir stambūs ($\varnothing$ >10 mm).

Smulkūs burbuliukai gaunami keraminiais, audininiais ir specialiaisiais plastikiniais aeratoriais. Disperguojant orą perforuotaisiais vamzdžiais, vamzdiniais spiraliniais aeratoriais, gaunami vidutinio stambumo, o disperguojant per vertikaliųjų vamzdžių atvirusius galus - stambūs oro burbuliukai. Pagrindinės pneumatinių aeratorių konstrukcijos. [18]

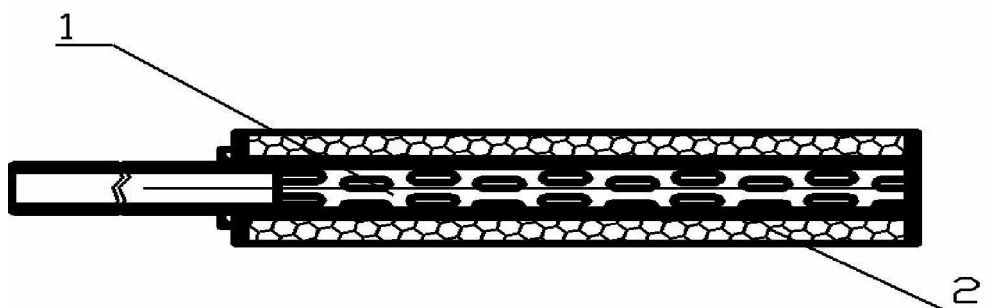
Lėkštinis aeratorius [13] Lėkštiniame aeratoriuje oro dispergavimui naudojama porėta medžiaga 1 (3. pav.), kuri gali būti iš įvairaus materialo. Diametras tokio aeratoriaus būna nuo 100 mm iki 200mm Šio aeratoriaus našumas nuo 0,1 iki 10 m³/h. priklausomai nuo naudojamos disperguojančios medžiagos.



3 pav. Lėkštinis aeratorius:

1- Porėta medžiaga, 2 - korpusas

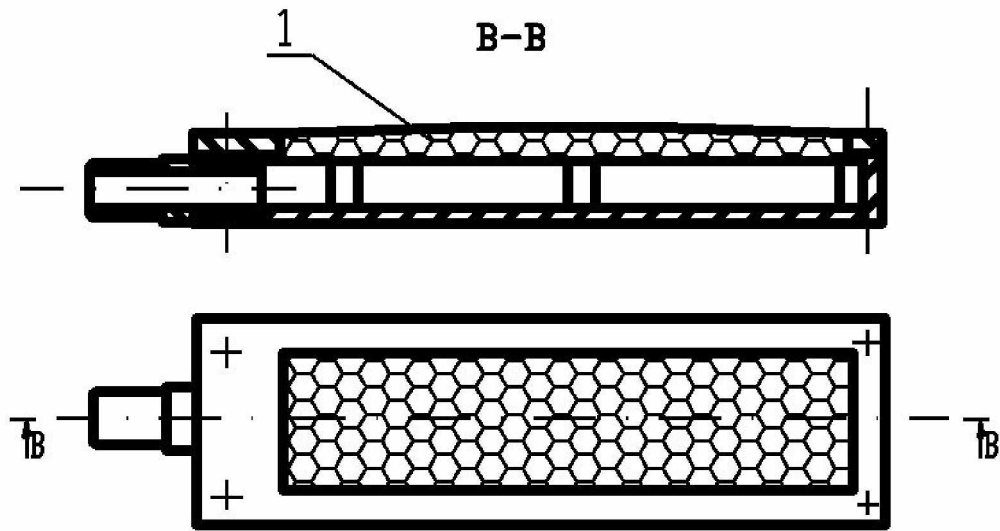
Aeratorius [14] skirtas nuotekų aeravimui, tai filtrovinis vamzdis, kuris sudarytas iš perforuoto vamzdžio 1 ir poliamidinio siūlo 2, (4 pav.). Šis aeratorius tolygiai paskirsto oro srautą į visas puses per visą savo darbo laiką..



4 pav. Filtrosinis vamzdis:

1 – perforuotas vamzdis, 2 – polimerinis siūlas

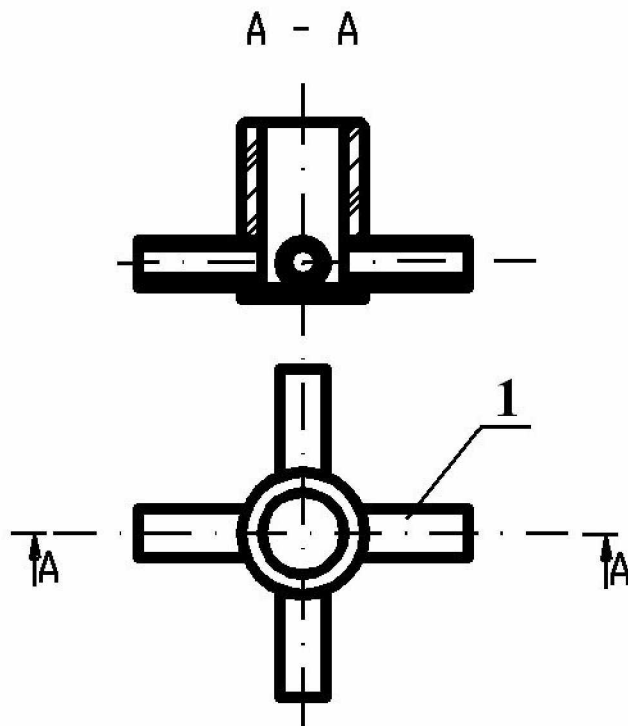
Aeratorius [22] pasižymi tuo kad jis gali būti naudojamas tiek orui tiek ir techniniam deguoniui nes jis labai turi tikslų pasiskirstymą per visą savo paviršiaus plotą. Šio aeratoriaus dispergavimo medžiaga yra iš aliuminio keramikos 1 (5 pav), kadangi porų diametras $0,3\ \mu\text{m}$. to pasekoje išeina iš aeratoriaus labai smulkus oro burbuliukų srautas.



5 pav. aliuminio keramikos aeratorius:

1 – aliuminio keramika

Aeratorius “SPARGEM” [18] naudojamas JAV biologinio nuotekų valymo įrenginiuose. Jis pasižymi tuo, kad turi labai paprastą konstrukciją ir nereikalauja didelių gamybos sąnaudų. Jo dispersiškumas priklauso nuo išeinančių vamzdelių 1 (6 pav.) diametro.



6 pav. Spargem aeratorius:

1 – vamzdelis

Mechaninio aeravimo sistemoje naudojami įvairių konstrukcijų mechaniniai aeratoriai, kurių - paskirtis besisukančiomis aeratoriaus dalimis (rotoriumi) įtraukti bei įterpti į vandenį aplinkos orą, vandenyje ištirpinti deguonį iš įterpto oro ir paskirstyti po visą įrenginio tūrį.

Visi mechaniniai aeratoriai klasifikuojami pagal šiuos požymius:

- 1) veikimo principą - paviršiniai ir kavitaciniai (impeleriniai);
- 2) rotoriaus ašies padėtį - vertikalieji ir horizontalieji;
- 3) rotoriaus konstrukciją - diskiniai, kūginiai, cilindriniai, turbininiai, sraigtiniai ir kt.

Ežektorinio aeravimo sistemoje į ežektorius siurbliais tiekiamas arba dumblo mišinys iš įrenginio su aktyviuoju dumblu, arba cirkuliacinis aktyvusis dumbblas iš antrinių nusodintuvų. Aplinkos oras pasiurbiamas į ežektorių, sumaišomas su dumblo mišiniu ir jame ištirpinamas pasiurbto oro deguonis. [8]

Į kombinuotojo aeravimo sistemą sujungiama mechaninio ir pneumatinio arba ežektorinio ir pneumatinio aeravimo sistemos.

2.2. Veiksniai įtakojantys deguonies tirpumą vandenyje

Deguonies tirpimas vandenyje - difuzinis procesas, besiplečiantis dviejų fazių sistemoje: dujos (oras) ir skystis (vanduo). Difuziniai masių mainai vyksta per fazių lietimosi paviršių. Masių mainų greitis nusakomas Fiko dėsnio: [18]

$$\frac{dM}{dt} = -DA \frac{dC}{dy} \quad (2)$$

čia dM/dt - masių mainų greitis ($\text{masė} \cdot \text{laikas}^{-1}$);
 D - difuzijos koeficientas ($\text{plotas} \cdot \text{laikas}^{-1}$);
 A - plotas, per kurį dujos difunduoja į tirpalą;
 dC/dy - koncentracijos gradientas

Deguonies tirpumas, jo tirpimo greitis priklauso nuo daugelio veiksnių. Įtakos turi oro burbuliukų paviršiaus plotas, deguonies deficitas, vandens, prisotinto deguonies, sluoksnio apie oro burbuliuką storis. Be išvardytų veiksnių, įtakos turi vandens prisotinimo deguonimi koncentracija, vandens temperatūra ir jo cheminė sudėtis, slėgis bei turbulentiškumas.

Vandens prisotinimas deguonimi priklauso temperatūros ir deguonies parcialinio slėgio, atsirandančio deguoniui kontaktuojant su vandeniu. [3]

Tirpinant deguonį nuotekose, prisotinimo riba būna mažesnė. Tai įvertinama koeficientu β :

$$\beta = \frac{C_s^n}{C_s^g}, \quad (3)$$

čia C_s^n - prisotinimo deguonimi koncentracija nuotekose mg/l ;
 C_s^g - prisotinimo deguonimi koncentracija švariame vandenyje, mg/l ;

Kintant atmosferos slėgiui, keičiasi prisotinimas deguonimi, kuris išreiškiamas šia priklausomybe:

$$C_s = C_{s(760)} * \frac{p_a - p}{760 - p} \quad (4)$$

čia $C_{s(760)}$ - prisotinimas deguonimi, kai atmosferos slėgis 760 mmHg, atsižvelgiant į temperatūrą, mg/l ;
 p_a - atmosferos slėgis deguonies tirpinimo metu, mmHg;

p - vandens garų slėgis atsižvelgiant į temperatūrą, mmHg;

Dydžiai p_a , p ir 760 vietoj mmHg gali būti matuojami paskaliais (Pa).

Aeruojant vandenį pneumatiniiais, mechaniniais turbininiais aeratoriais, oro burbuliukas yra veikiamas slėgio, todėl, kylant oro burbuliukui, slėgis, palyginti su atmosferos, padidėja. Esant didesniai slėgiui, didėja vandens prisotinimo deguonimi koncentracija. Aeravimo sistemose vandens temperatūra įvertinama tūrinio masių mainų koeficiento pokyčiu pagal priklausomybę.

$$K_{L(20^{\circ}\text{C})}=K_{L(t)}*K_t=K_{L(t)}[1+0,02(t-20)] \quad (5)$$

čia t – vandens temperatūra;

K – tūrinis masių mainų koeficientas;

Aeravimas turi užtikrinti ne vien ištirpusio deguonies poreikavimą biocheminiams procesams, bet ir sudaryti tokį hidrodinaminį režimą, kad aktyvusis dumblas būtų palaikomas pakibusios būklės (minimalus aeravimo intensyvumas - $I_{\min}$) ir kad nebūtų sudaryti maksimalūs hidrauliniai nuostoliai suslėgtojo oro aeravimo sistemoje (maksimalus aeravimo intensyvumas - $I_{\max}$). Maksimalios ir minimalios aeravimo intensyvumo reikšmės pateiktos 1 ir 2 lentelėse. []

1 lentelė. Koeficiento K_1 ir $I_{\max}$ dydžiai

A_a/A	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
K_1	1.34	1.47	1.68	1.89	1.94	2.0	2.13	2.3
$I_{\max}$ $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	5	10	20	30	40	50	75	100

2 lentelė. Koeficiento K_2 ir $I_{\min}$ dydžiai

Aeratoriaus panėrimo gylis (h) m	0,5	0,6	0,7	0,7	3	4	5	6
K_2	0.4	0.46	0.60	0.80	2.08	2.52	2.92	3.3
$I_{\min}$ $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	48	42	38	32	4	3,5	3	2,5

Reikiamas tiekti oro kiekis [3]

$$Q = q_{\text{air}} * Q_h, \text{ m}^3/\text{h}; \quad (6)$$

čia q_{air} – aeratorių skaičius;

Q_h - nuotekų valandos debitas, m^3/h ; skaičiuojant ilgo aeravimo aerotankus ar aerokanalus, imamas vidutinis valandos debitas, skaičiuojant vidutiniškai apkrautus aerotankus, -maksimalaus pritekėjimo per aeravimo trukmę - vidutinis valandos debitas, skaičiuojant intensyviai apkrautus aerotankus, - maksimalus valandos debitas.

Pagal apskaičiuotą reikiamą tiekti oro kiekį ir pagal parinktą aeratoriaus panėrimo gylį (h) renkamas orapūčių tipas ir jų skaičius (2-8 vnt).

Norint žinoti, ar teisingai parinkti aeratoriai, tikrinamas aeravimo intensyvumas I, kuris turi būti mažesnis už I_{max} ir didesnis už I_{min} , ir oro kiekis, tenkantis 1 m^2 aeratorių paviršiaus [18].

Faktinis aeravimo intensyvumas

$$I = Q_f/A, \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} \quad (7)$$

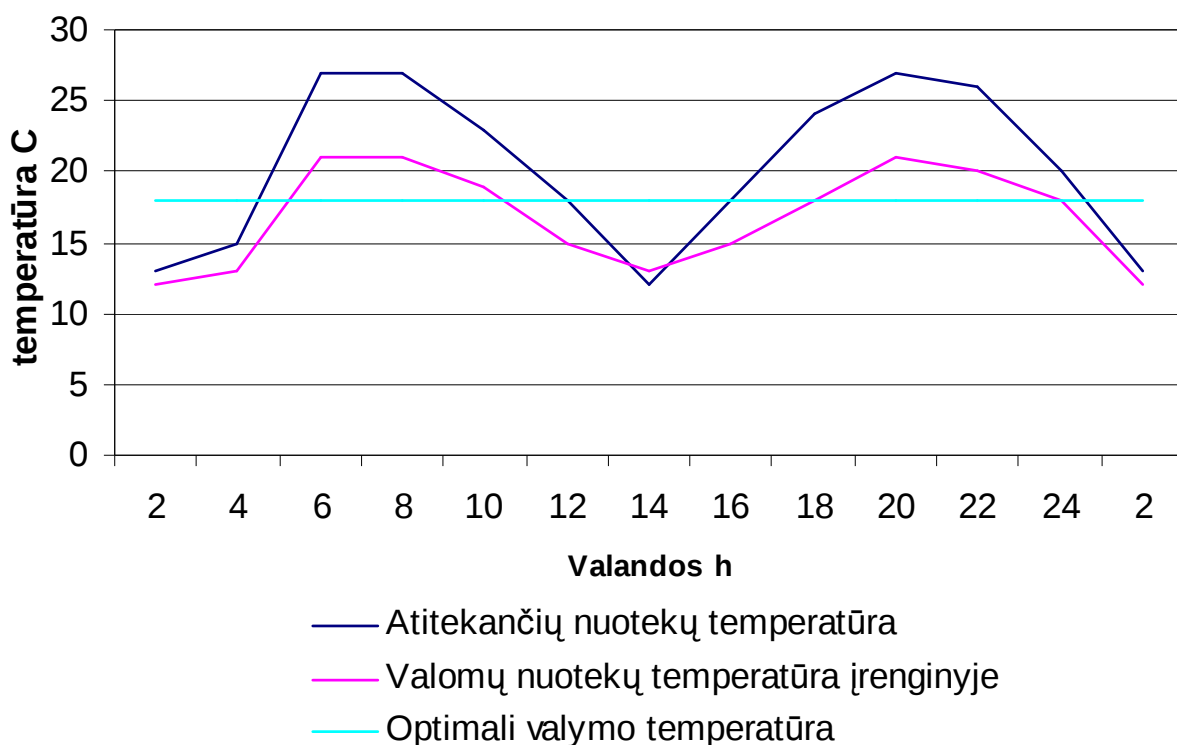
čia Q_f - faktinis tiekiamo oro kiekis (pagal parinktas orapūtės), m^3/h ;

A – aeratorių paviršiaus plotas;

3. PROBLEMOS APTARIMAS IR TYRIMO OBJEKTAS

3.1. Biologinio valymo metu atsirandančios problemos

Valant nuotekas vykstantys mikrobiologiniai procesai yra jautrūs bet kokiems aplinkos poveikiams. Priklausomai nuo metų laiko nuotekų temperatūra kinta nuo $+8^{\circ}$ iki $+30^{\circ}\text{C}$. Taip pat nuotekų temperatūra kinta ir paros metu. Atlikus matavimus nustatyta, kad temperatūros kinta. Jų temperatūros kitimo kreivė pavaizduota 2 pav.[6] Šioje kreivėje pavaizduota kitimo temperatūra pavasario, vasaros, rudenio periode. Žiemos periodu nuotekų temperatūra priklauso nuo valymo sistemos įrengimo gylio ir konstrukcijos.

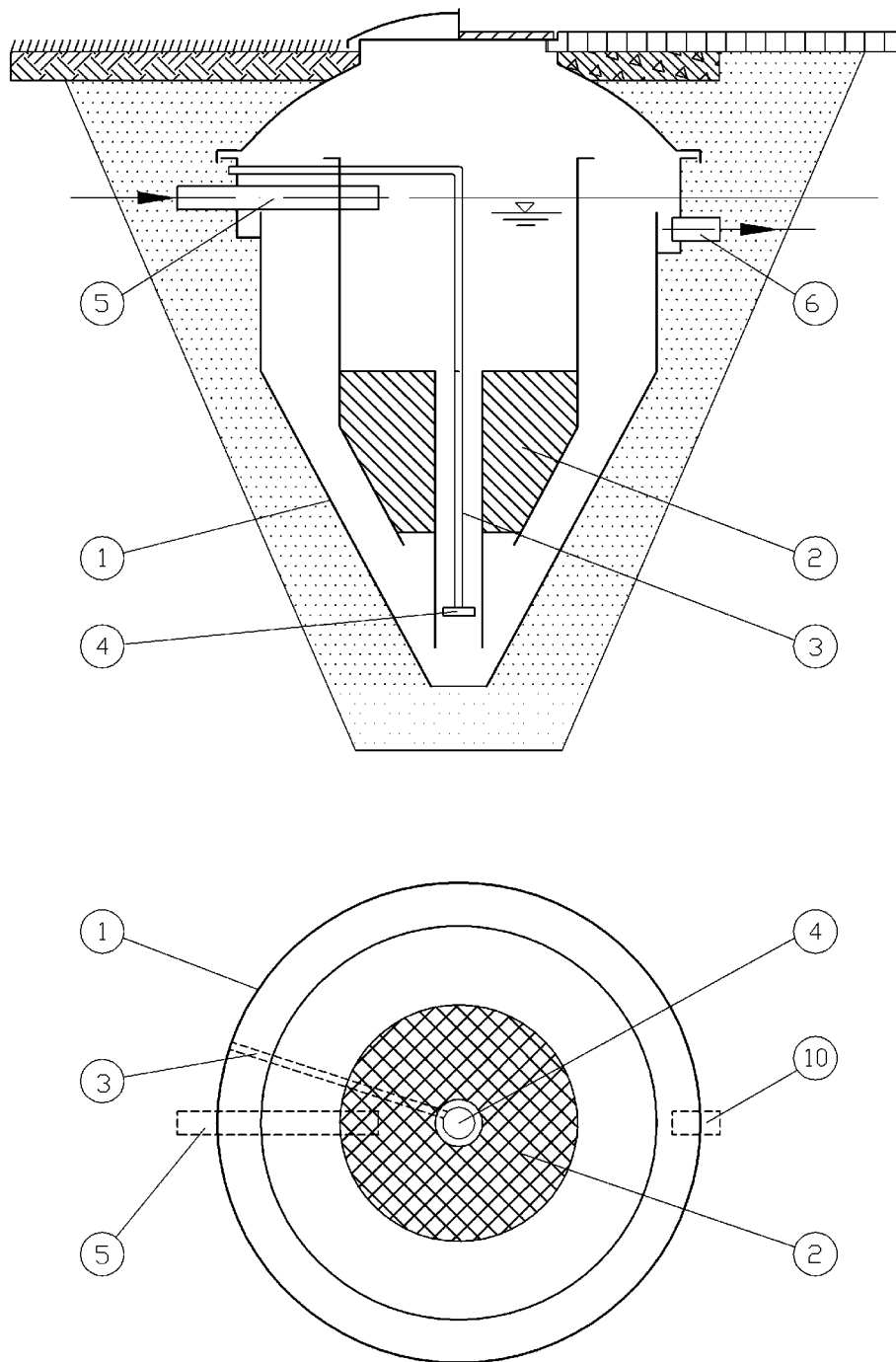


7 pav. Nuotekų temperatūros kitimas paros metu

Tokie temperatūrų svyravimai įtakoja nuotekų išvalymo efektyvumą. Atliktų mikrobiologinių procesų tyrimai parodo, jog optimaliausia nuotekų valymo temperatūra $+18^{\circ}\text{C}$ [18]. Mažėjant temperatūrai mikrobiologiniai procesai lėtėja, o padidėjus atsiranda parazituojančių mikrobu. Ankstesniuose skyriuose minėta jog biologinio valymo metu reikalinga tiekti orą į nuotekas, tam kad vyktų bioksidacijos reakcijos. 1 pav. pavaizduotas klasikinis nuotekų valymo įrenginys. Jį sudaro: kompresorius (orapūtė) 1, aeratorius 2, rezervuaras 3. Tačiau kaip matome pav. (Bakterijų

grupių augimo priklausomybė nuo temperatūros) optimaliausias deguonies tirpumas vandenyje yra tuomet kai vandens temperatūra 18 – 22 °C. Siekiant efektyvesnio nuotekų valymo atsiranda poreikis kontroliuoti nuotekų temperatūrą. Nuotekų temperatūrą tikslinga palaikyti tokia, kad vyktų intensyvūs mikrobiologiniai procesai ir deguonies tirpumas būtų didžiausias. Kaip matome pav. (Bakterijų grupių optimaliausia nuotekų temperatūra kuomet intensyvūs mikrobiologiniai procesai ir deguonies tirpumas yra ~ +18 °C [3].

Kaip matome aerotanke 3 tam tikru laiko momentu nuotekų temperatūrą reikia mažinti arba didinti (žr 2 pav. Nuotekų) [29] Šiai problemai spręsti tiksliausia būtų per aeravimo sistemą tiekiant šiltą arba šaltą orą.



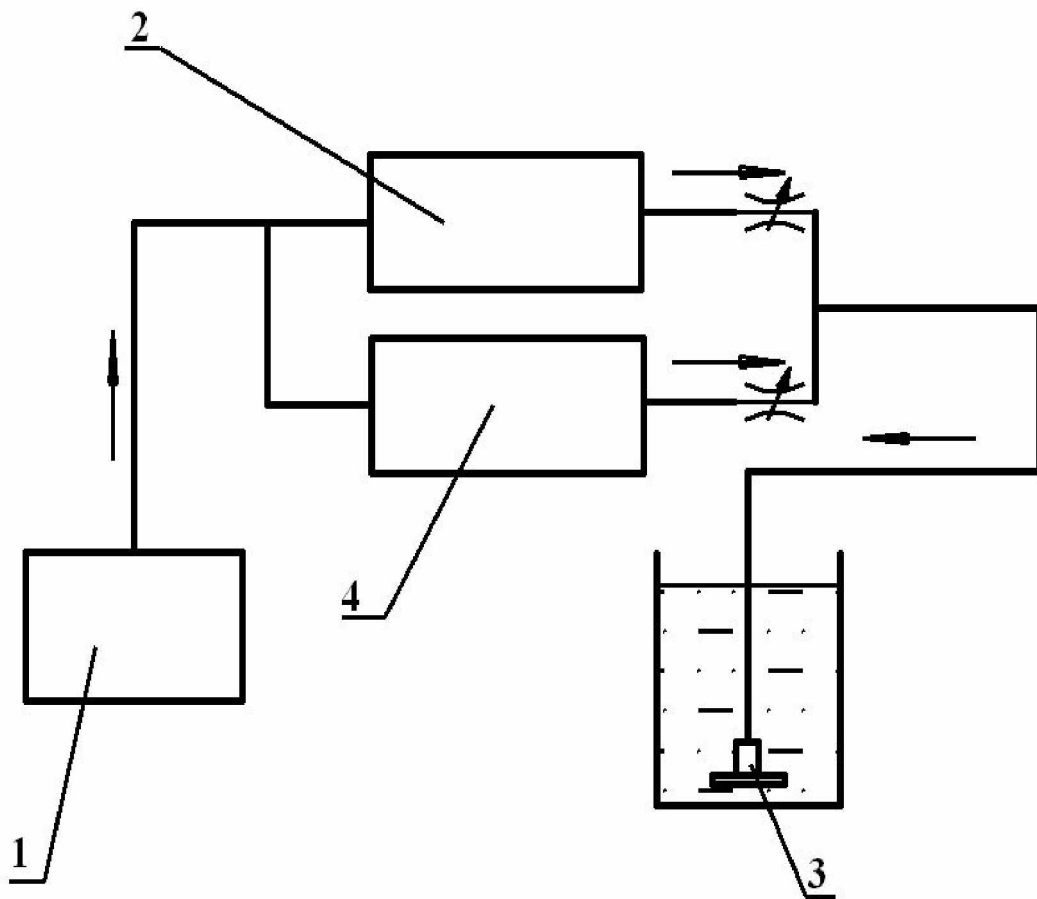
8 pav. Klasikinis nuotekų valymo įrenginys:

1- korpusas, 2 – bioįkrova, 3 – oro padavimas, 4 – aeratorius, 5 – įtekėjimo vamzdis, 6 –
ištekėjimo vamzdis

4. ŠALTO IR ŠILTO ORO RUOŠIMO SISTEMOS

4.1. Oro šildymas ir šaldymas

Nuotekų temperatūros reguliavimą galima atlikti naudojant kaloriferį 2 ar šaldytuvą 4 (9 pav.) [5]. Oras iš orapūtės tiekiamas į kaloriferį ar į šaldytuvą, šiltas arba šaltas oras patenka į rezervuarą per aeratorių 3 (9 pav.). Aeravimo metu vykstantys maišymasis pagrįstas šilumos ir masės mainais. Šitokia sistema turi trūkumų, šildant ar šaldant orą reikalingos energijos sąnaudos, kas šią sistemą padaro neefektyvią.

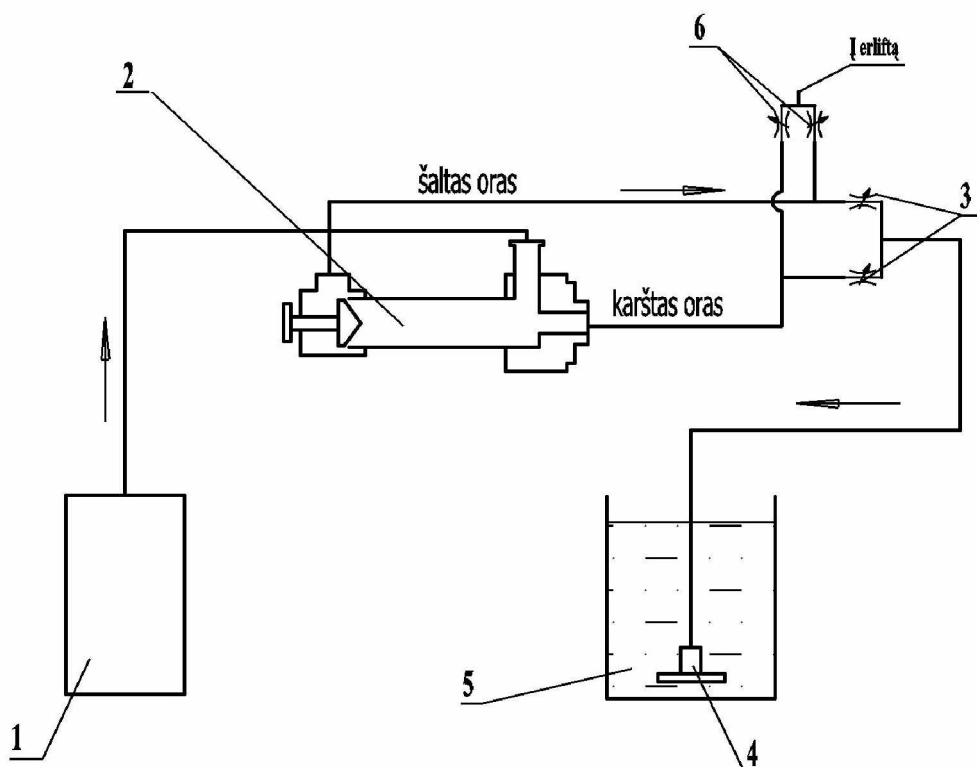


9 pav. Oro šildymo šaldymo sistemos schema:

1 – orapūtė, 2 – kaloriferis, 3 – aeratorius, 4 – šaldytuvas

4.2. Siūlomas sūkurinio vamzdžio panaudojimas

Kadangi nuotekoms reikalinga tiekti orą tai vietoj kalorifero 2 (9 pav.) ir šaldytuvo 4 galima naudoti sūkurinį vamzdį, kaip šilumos ir šalčio generatorių. Įterpę sūkurinį vamzdį gauname valymo sistemos schemą (10 pav.) Sūkurinį vamzdį tikslinga naudoti todėl, kad jam nereikalinga papildoma energija šildant ar šaldant. Šildant ir šaldant orą energiją naudoja tik kompresorius.



10 pav. Nuotekų valymas panaudojant sūkurinį vamzdį schema

1 – kompresorius, 2 – sūkurinis vamzdis, 3 – droselis, 4 – aeratorius, 5 – rezervuaras,
6 - dsroselis

. Iš vamzdžio išeinantys karšto ir šalto oro srautai per droselį 3 (10 pav.) nuvedami į aeratorių 4. Oro srautas tiekiamas į rezervuarą 5. Oro burbuliukai, kildami, vykstant šilumos ir masės mainams, šildo arba šaldo nuotekas, taip pat jas ir maišo. Šilto šalto oro tiekimas reguliuojamas droseliais 3. Oro perteklius per droselius 6 tiekiamas į erliftą. Sūkurinio vamzdžio naudojimas nuotekų temperatūrai kontroliuoti yra perspektyviausia sistema.

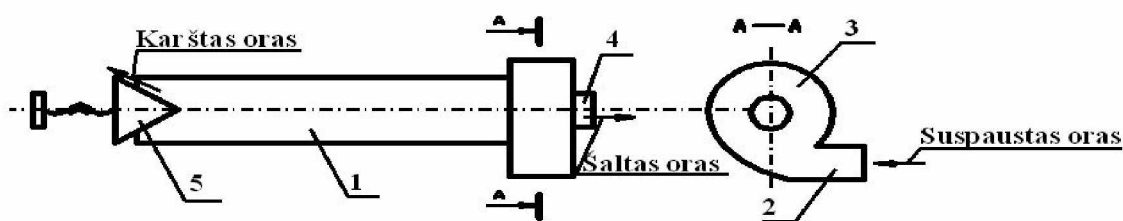
4.3. Sūkurinis vamzdis

1931 metais mokslininkas Žozefas Rankas atrado energetinio dujų atsiskyrimo sūkurinį efektą, dažnai vadinamą Ranko efektu.

Paskelbus apie sūkurinį efektą, pasaulyje nebuvo kokio nors reikšmingesnio susidomėjimo šiuo atradimu. Ir tik 1945 metais sūkurinis efektas tapo įvairių pasaulio šalių mokslininkų tyrimo objektu [12].

Iš pirmo žvilgsnio paprastas atrodantis sūkurinis efektas iš tikrųjų yra sudėtingas dujų dinaminis procesas, vykstantis klampių spaudžiamų dujų turbulenciniame sraute. Tai iš dalies ir paaiškina nesėkmingus bandymus spręsti šį uždavinį. Šiuo metu yra paskelbtos kelios dešimtys darbų, kuriuose bandoma atrasti fizikinę esmę bei pateikti analitinį sprendimą. Tačiau galutinio sprendimo mokslininkai dar nėra priėmę [19].

Sūkurinis efektas (arba Ranko efektas) pasireiškia užsuktame klampių spaudžiamų dujų sraute ir realizuojamas labai paprastame prietaise, vadinamame sūkuriniu vamzdžiu (Ranko – Hilšo vamzdžiu, sūkuriniu šaldytuvu – šildytuvu), kurio principinė schema pavaizduota 11 pav. [12]



11 pav. Sūkurinio vamzdžio schema:

1 - glotnus cilindrinis vamzdis (sūkurinis vamzdis), 2 – tangentinis įėjimas, 3 – sūkurio generatorius, 4 – diafragma, 5 – droselis

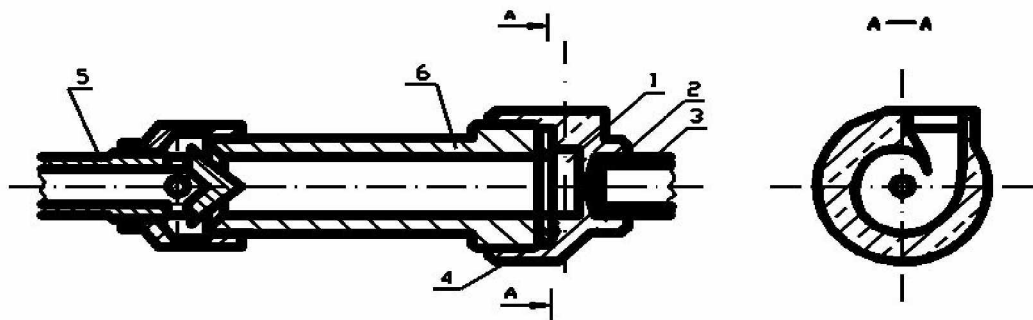
Įtekėdamos suslėgtos dujos per tangentinį korpusą įgauna intensyvią sukimosi. Sukdamasis srautas juda link kūginio droselio, kuris oro srautą dalina į dvi dalis karšta ir šalta srautus. Dėl intensyvaus sukimosi suslėgtų dujų srauto energija nukreipiama link vamzdžio sienelės susidaro šiltas oro srautas, kuris nuvedamas per droselį 5. Oro srautas su mažesniu energijos kiekiu nukreipiamas į vamzdžio vidurį kur jis papildomai susispaudžia tačiau neprarasdamas sukimosi juda prieš priešais pagrindiniam oro srautui atiduodamas jam sukauptą energiją. Oro srautas su mažu energijos kiekiu išeina lauk per diafragmą 4 gaunamas staigus plėtimasis ko pasekoje susidaro šalto oro srautas.

Slėgį sūkuriniame vamzdyje galima reguliuoti droseliu 5. Prisukus droselį 5 bendras slėgis vamzdyje 1 padidėja. Todėl šalto srauto debitas padidėja, atitinkamai sumažėjus karštam srautui. Taip pat keičiant droselio 5 padėtį keičiasi ir šalto bei karšto srauto temperatūra. Sūkurinis vamzdis sukuria temperatūros ribose nuo $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sukuriamos temperatūros priklauso nuo sūkurinio vamzdžio išpildymo.

4.4. Sūkurinio vamzdžio konstrukcijos variantiškumas.

Žinoma konstrukcija [15] kur laikantysis korpusas pagamintas kartu susūkuriavimo generatoriumi, bei diafragma 2 (12 pav.). Srauto dalijimo pasižymi tuo, kad korpuse prieš ją yra žiedas. Įėjimo kanalas į sraigą atitinkamai ir žiedo paviršiuje nukreiptas į antgalį . korpusas su sraigtu ir diafragma padarytas iš vienos medžiagos su mažu temperatūriniu plėtimosi koeficientu, bei slydimo trintimi .

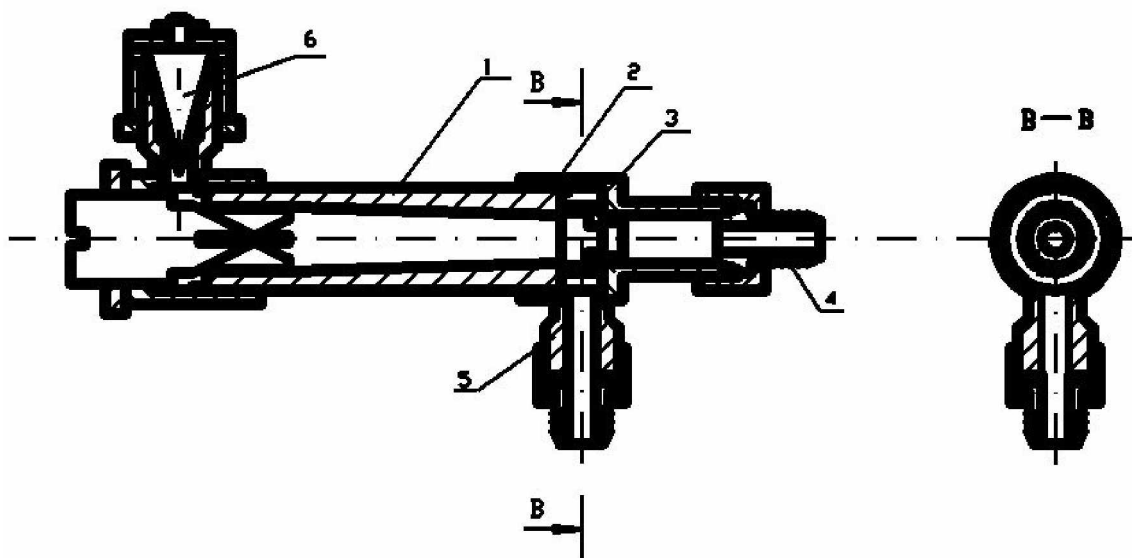
Šis sūkurinis vamzdis pasižymi tuo kad korpusas su sūkuriavimo generatoriumi pagamintas iš polimerų ar keramikos.



12 pav. Sūkurinis vamzdis :

1 – sūkurio generatorius; 2 – diafragma su korpusu; 3 – šalto oro antgalis; 4 – plastikinis žiedas; 5 – karšto oro antgalis; 6 – sukurinio vamzdžio korpusas.

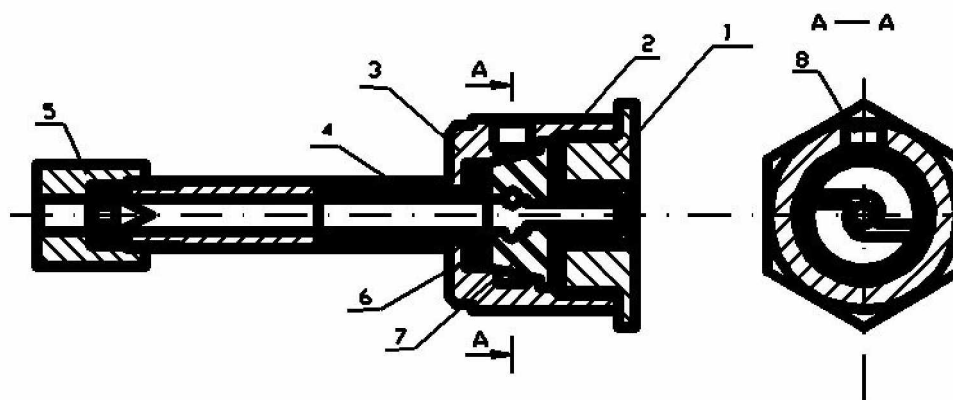
Žinoma konstrukcija, [16] su pagerintomis eksploatacijos charakteristikomis turi didelį temperatūros reguliavimo tikslumą. Karšto oro antgalis uždaromas reguliuojamuoju vožtuvu įtaisytu antgalio viduje. Kitas reguliavimo vožtuvas 6 (13 pav.) išorėje užsukamas ant šalto, ar karšto oro antgalio. Gaubtukas su ant dugno pritvirtintu kūgiu kontaktuoja su antgalio paviršiumi, kuris taip pat turi kūgišką paviršių. Gaubtukas padarytas su kiaurymėmis, tokiu būdu oras išeina į išorę.



13 pav. Sūkurinis vamzdis:

1 – sukurinio vamzdžio korpusas; 2 – korpusas; 3 – sūkurio generatorius; 4 – šalto oro antgalis; 5 – oro padavimo antgalis; 6 – vožtuvas.

EXAIR [24], tai paprastos konstrukcijos sūkurinis vamzdis, kurio įvorė 4 (14 pav.) pagaminta iš nerūdijančio plieno. Ji gerai apsaugo sūkuriavimo zoną nuo paviršiaus korozijos ir oksidacijos. Šio sūkurinio vamzdžio naudingumo koeficientas didelis ir dirbant jam esant 0,6 MPa slėgiui šalto oro temperatūra būna nuo $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Šie parametrai pasiekiami naudojant ne vieną, o su įvairių dydžių sūkurinius vamzdžius, nes jie gaminami su fiksuota droselio padėtimi.

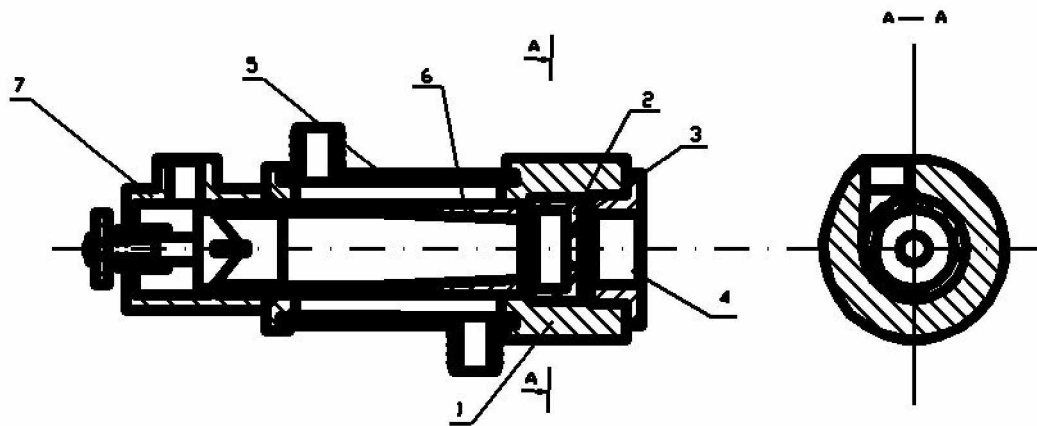


14 pav. Sūkurnis vamzdis EXAIR:

1 – šalto oro antgalis; 2 – atraminis žiedas; 3 – korpusas; 4 – įvorė; 5 – karšto oro antgalis; 6 – atraminis žiedas; 7 - sūkurnio generatorius; 8 - oro tiekimo antgalis.

Sūkurnis vamzdis su aušinimu [12] Ši konstrukcija pasižymi tuo kad ji yra su aušinimu. Nes judantis oro srautas droselio link suteikia vamzdžiui kaskart vis naują energijos srautą, tai padidina jo temperatūros padidėjimą, dėl to sumažėja jo naudingumo koeficientas (15 pav.).

Aušinimas su vandeniu kurio temperatūra $+15^{\circ}\text{C}$ ir jei vandens temperatūra pakils iki $+27^{\circ}\text{C}$ gaunamas šalto oro neigiamos temperatūros padidėjimas 7,5 %. Sūkurnį vamzdį galima aušinti oro srautu - tiek vandeniu, tiek kitais aušinimui naudojamais skysčiais.



15 pav. Sūkurinis vamzdis su aušinimu:

1 – korpusas, 2 – sūkurio generatorius, 3 – atraminis žiedas, 4 – šalto oro antgalis, 5 – aušinimo vamzdis, 6 – sūkurinis vamzdis, 7 - karšto oro antgalis

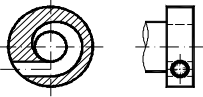
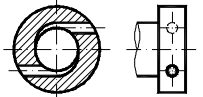
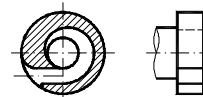
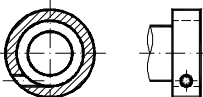
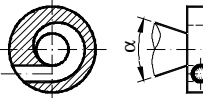
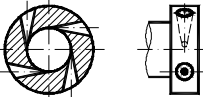
Pagrindiniai variantų skirtumai yra konstrukcinis tūtos 2 išpildymas ir vamzdžio cilindrinės dalies 1 (sūkurinės zonos) ilgis kalibrais.

1-oje lentelėje pateikti konstrukciniai sūkurinio vamzdžio variantai, kuriems būdingi geri efektyvumo rezultatai.

Anot R. Hilš, V. Martynovskij ir V. Aleksejev , optimalus vamzdžio sūkurinės zonos ilgis (atstumas tarp tūtos ir karšto srauto droselio) būtų 50 kalibrų. Tuo tarpu A. Merkūlovo pasiūlytas patobulinimas leidžia vamzdžio ilgį sutrumpinti iki 9 kalibrų. A. Merkūlovas pieš karšto srauto droselį įstatė keturių menčių kryžmę, kuri išlygina sūkurinį srautą. Tai leidžia gerokai sutrumpinti sūkurinės zonos ilgį ir sūkurinio vamzdžio gabaritus.

Remiantis padarytais tyrimais sūkuriniui efektui ir kai kuriems sūkuriniams aparatams yra sukurta pusiau empirinė skaičiavimo metodika [12].

3 lentelė. Sūkurių generatoriaus konstrukciniai variantai

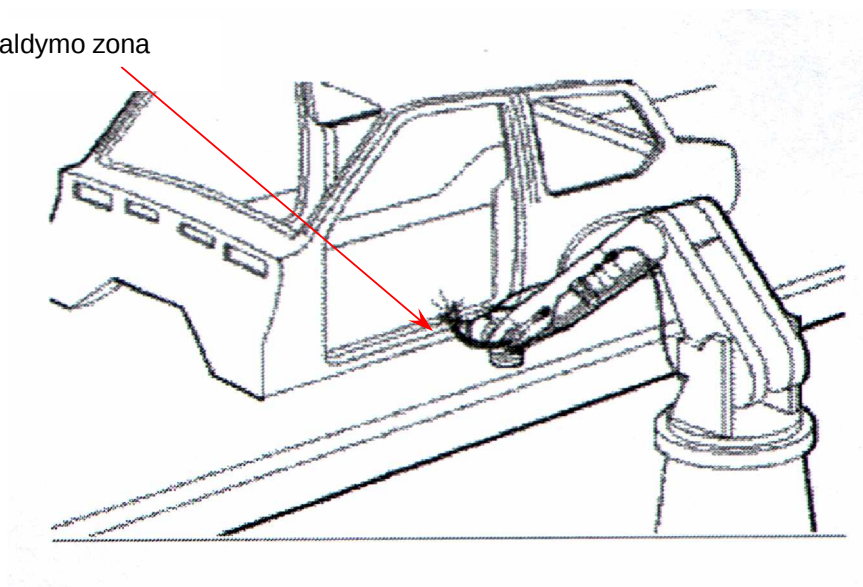
Vamzdžio. Nr.	Autorius	Tūtinio įėjimo konstrukcija	vamzdžio skersmuo, mm	Tūtinio įėjimo plotas F_t , mm ²	kiaurymės skersmuo D_D	skersmuo, mm	Pastabos
1	R. Hilš		4.6 9.6 17.6	0.95 4.15 13.2	2.2 4.3 6.5	50 50 50	Apvali tūta
2	V. Martynovskij ir V. Aleksejev		4.1 9.0 16.0 28.0	0.8 8.3 24.0 56.5	1.5 4.5 7.5 12.0	67 50 50 50	Dviejų tūtų įėjimas
3	A. Merkūlov		10 16 20 25 33	7.6 18 30 47 84	4.5 7.2 9 11 14.5	9 9 9 9 9	Stačiakampė tūta
4	M. Dūbinskij		32		25		
5	V. Hendl		10	7	6	4	Kūginė tūta $\alpha = 7^\circ$
6	S. Fulton		6.1	0.8	1.75	33	Keturių ir šešių tūtų įėjimas

4.5. Sūkurinio vamzdžio panaudojimo analizė

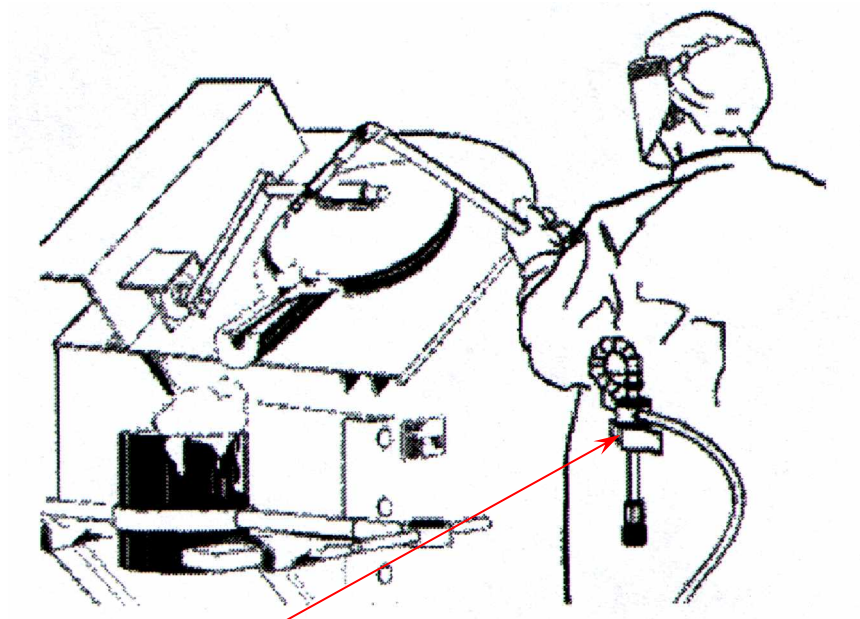
Dėl savo ypatingų savybių sūkurinis efektas gali būti lengvai pritaikytas įvairiose technikos ir gamybos srityse. Sūkurinį vamzdį galima naudoti kaip šalčio ir šilumos generatorių, vakuuminį siurblį, gigrometrą, termometrą ar sūkuriniu efektu šalinti drėgmę dujose.

Sūkurinio vamzdžio panaudojimo pramonėje pavyzdžiai. Suvirinant metalus elektros lanku, suvirinimo vieta intensyviai kaista ir sukelia gretimų metalo sluoksnių termines deformacijas, kas įtakoja gaminio kokybę. Kontakto vietos aušinimas naudojant sūkurinį vamzdį (16 pav.) [43] dėl to nereikalingos antraeilės operacijos ir gerokai pagerina suvirinamos vietos kokybę. Gaminant gaminius liejimo būdu reikalinga vėsinti darbininko darbo zoną. Šaltas oras iš sūkurinio vamzdžio (17 pav.) tiekiamas į darbininko apsauginį kostiumą, taip sukurama darbo aplinka geresnė nei su paprastais apsauginiais drabužiais. Apdirbant metalus tekinime šaldoma peilio viršūnė (18 pav.) [37], ataušinama iki 0 °C tai leidžia padidinti įrankių darbo resursą, bei išvengti nepageidaujamų šiluminių deformacijų. Pjaustant plastiką pjovimo diskais pjovimo zonoje, dėl trinties susidaro temperatūrinės zonos, kuriose jis virsta minkšta medžiaga, tai iš esmės blogina jo apdirbimo savybes. Pjovimo zoną aušinama panaudojant sūkurinį vamzdį (19 pav.) Tuomet pjovimo diskai gali dirbti savo maksimaliu greičiu ir briaunos išlieka aštrios, taip pat nusivalo ant pjovimo diskų susikaupęs plastikas. Gręžiant ar sriegiant žalvarinius gaminius šaltas oras iš sūkurinio vamzdžio tiekiamas be tepimo skysčio (20 pav.) [24]. Šaldymui naudojamas atšaldytas oras iki -18 °C. Žalvaris nekeičia savo savybių ir apdirbamos vietos lieka švarios, dėl to nereikia papildomos operacijos.

Šaldymo zona

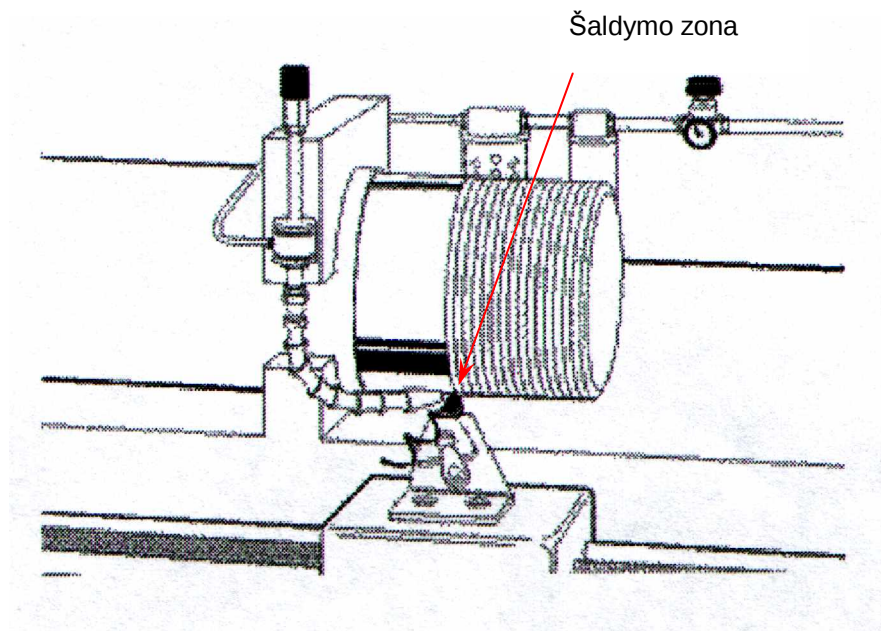


16 pav. Šaldymas suvirinant



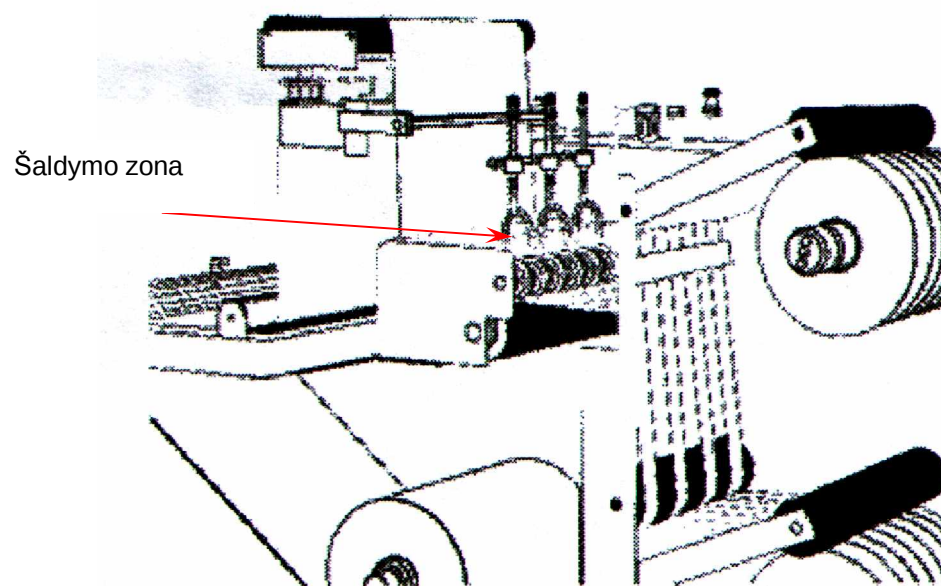
Sūkurinis vamzdis

17 pav. Liejimo operacijos

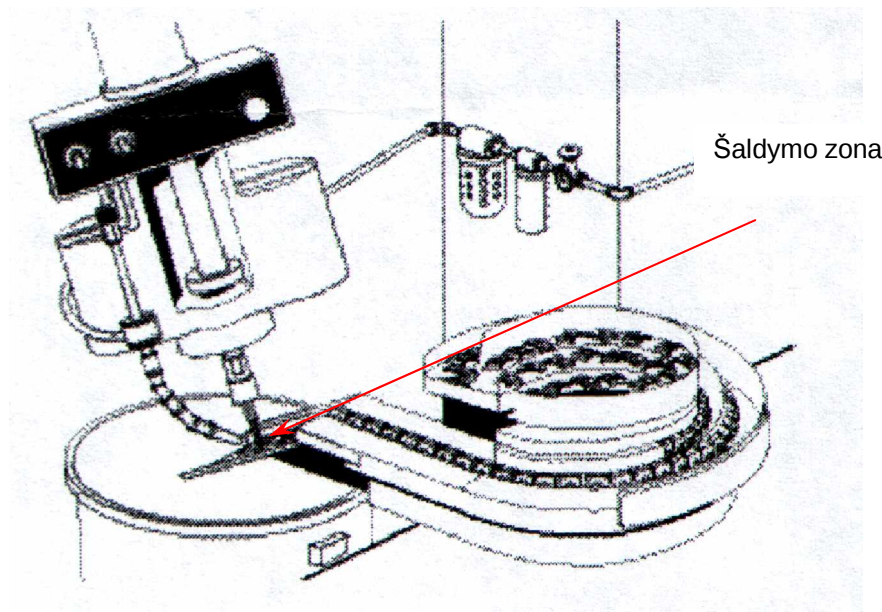


Šaldymo zona

18 pav. Metalo apdirbimas



19 pav. Plastikų pjaustymas



20 pav. gręžimo sriegimo operacijos

5. EKSPERIMENTINĖ DALIS

5.1. Reikalingas energijos kiekis šildyti bei šaldyti nuotekas

Pagal grafika (7 pav) matome jog optimali temperatūra yra $T_{op} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nuotekų temperatūros minimali $T_{min} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, o maksimali $T_{max} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Skaičiavimai aliekami tik nuo maksimalių temperatūrų skirtumo.

Reikalinga padidinti nuotekų temperatūrą ΔT_s

$$\Delta T_s = T_{op} - T_{min} = 18 - 12 = 5\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

Reikalinga sumažinti nuotekų temperatūrą ΔT_a

$$\Delta T_a = T_{max} - T_{op} = 21 - 18 = 3\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (9)$$

Skaiciuojame šilumos kiekį reikalingas pašildyti $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 m^3 nuotekų .[7]

$$Q_p = (Q_1 + \frac{Q_2}{2}) = 25.01 \cdot 10^6\text{ J} \quad (10)$$

čia: Q_p – šilumos kiekis pašildymui J;

Q_1 – šilumos kiekis reikalingas vandeniui J;

Q_2 – šilumos nuostoliai J;

Šilumos kiekis šildymui

$$Q_1 = V \rho c_v (T_2 - T_1) = (1 \cdot 998.2 \cdot 4.176 \cdot 10^3) \cdot (291 - 285) = 25.011 \cdot 10^6\text{ J} \quad (11)$$

čia V – nuotekų tūris m^3 ;

ρ – nuotekų tankis $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

c_v – specifinė nuotekų (vandens) šiluma $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$;

T_2 – išilusių nuotekų (vandens) temperatūra K (T_{op});

T_1 – pradinė nuotekų (vandens) temperatūra K (T_{min});

Pradinė nuotekų (vandens) temperatūra

$$T_1 = T_{min} = 285\text{ K}$$

Išilimo temperatūra

$$T_2 = T_{op} = 291\text{ K}$$

Nuotekų tūris

$$V = 1\text{ m}^3$$

Nuotekų tankis

$$\rho = 998.2 \frac{kg}{m^3}$$

Specifinė nuotekų šiluma paimame kaip ir vandens [2]

$$c_v = 4.183 \frac{kJ}{kgK}$$

šilumos nuostolių Q_2 neįvertinam nes jie nežymūs.

Skaičiuojame šilumos kiekį reikalingą sumažinti temperatūrai 3 °C [7]

$$Q_A = (Q_{a1} + \frac{Q_{a2}}{2}) = 12.51 * 10^6 J \quad (12)$$

čia Q_A – šalčio kiekis aušinimui J;

Q_{a1} – šalčio kiekis reikalingas vandeniui ir rezervuaro medžiagai J;

Q_{a2} – šalčio nuostoliai J;

Šilumos kiekis šaldymui

$$Q_{a1} = V \rho c_v (T_1 - T_{a2}) = (1 * 998.2 * 4.174 * 10^3) * (294 - 291) = 12.51 * 10^6 J \quad (13)$$

čia V – nuotekų tūris m^3 ;

ρ – nuotekų tankis $\frac{kg}{m^3}$;

c_v – specifinė nuotekų (vandens) šiluma $\frac{J}{kgK}$;

T_2 – išilusių nuotekų (vandens) temperatūra K (T_{op});

T_1 – pradinė nuotekų (vandens) temperatūra K (T_{min});

Šilumos nuostoliai Q_{a2} maži ir jų neįvertiname

Ataušimo temperatūra

$$T_2 = 294 K$$

Priiame , kad aušinimo ir šildymo trukmė dvi valandos tuomet reikiamas suteikti energijos kiekiai vienai valandai bus:

$$Q_{s1val} = Q_s / t = 25.01 \times 10^6 / 2 = 12.505 \times 10^6 J / h \quad (14)$$

$$Q_{a1val} = Q_a / t = 12.51 \times 10^6 / 2 = 6.255 \times 10^6 J / h \quad (15)$$

5.2. Eksperimentui reikalingas šildymo ir šaldymo energijos kiekis

Eksperimentui atlikti naudojama dvidešimt litrų vandens eksperimentas atliekamas vieną valandą.

5.2.1. Šilumos kiekis vandeniui šildyti

Skaičiuojame šilumos kiekį reikalingą pakelti temperatūrai $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dvidešimt litrų vandens per vieną valandą. [7]

$$Q_p = (Q_1 + \frac{Q_2}{2}) / t = 0.4166 * 10^6 \text{ J} / h \quad (16)$$

čia Q_p – šilumos kiekis pašildymui J;

Q_1 – šilumos kiekis reikalingas vandeniui J;

Q_2 – šilumos nuostoliai J;

t – laikas 1 h;

$$Q_1 = V \rho c_v (T_2 - T_1) = (0.02 * 998.2 * 4.174 * 10^3) * (291 - 285) = 0.4166 * 10^6 \text{ J} \quad (17)$$

čia V – vandens tūris m^3 ;

ρ – vandens tankis $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

c_v – specifinė vandens šiluma $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$;

T_2 – išilusio vandens temperatūra K (T_{op});

T_1 – pradinė vandens temperatūra K (T_{min});

Pradinė vandens temperatūra

$$T_1 = T_{\text{min}} = 285 \text{ K}$$

Išilimo temperatūra

$$T_2 = T_{\text{op}} = 291 \text{ K}$$

Vandens tūris

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

Specifinė vandens šiluma [2]

$$c_v = 4.174 \frac{kJ}{kgK}$$

šilumos nuostolių Q_2 neįvertinam nes jie nežymūs.

5.2.2. Šilumos kiekis vandeniui ataušinti

Skaičiuojame šilumos kiekį reikalingą sumažinti temperatūrai 3 °C dvidešimt litrų vandens per vieną valandą.

$$Q_A = (Q_{a1} + \frac{Q_{a2}}{2}) / t = 0.2500 * 10^6 J / h \quad (18)$$

čia Q_A – šilumos kiekis aušinimui J;

Q_{a1} – šilumos kiekis reikalingas vandeniui ir rezervuaro medžiagai J;

Q_{a2} – šilumos nuostoliai J;

t – laikas 1 h;

Aušinimui reikalingas šilumos kiekis

$$Q_{a1} = V \rho c_v (T_1 - T_{a2}) = (0.02 * 998.2 * 4.174 * 10^3) * (294 - 291) = 0.2500 * 10^6 J \quad (19)$$

čia V – vandens tūris rezervuare m³;

ρ – vandens tankis $\frac{kg}{m^3}$;

c_v – specifinė vandens šiluma $\frac{J}{kgK}$;

T_1 – pradinė vandens temperatūra K (T_{max});

T_{a2} – ataušusio vandens temperatūra K (T_{op});

Šilumos nuostoliai Q_{a2} maži ir jų neįvertiname

Ataušimo temperatūra

$$T_2 = 294 \text{ K}$$

Reikalinga oro masė pašildyti vieną litrą vandens

$$G = \frac{Q}{q} = \frac{0.4166 \times 10^6}{5.020 \times 10^3} = 82.86 \text{ kg} / \text{h} \quad (20)$$

čia: Q_k - šilumos kiekis J;

G – suminė svorinė oro išeiga kg ;

q_k – lyginamasis šilto - šalto oro našumas J/kg ;

Lyginamasis šilto oro našumas

$$q_k = \Delta t_k c_p = 5 * 1.004 * 10^3 = 5.020 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (21)$$

čia: q_k – lyginamasis šalto oro našumas $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$;

Δt_k – temperatūros pokytis K;

c_p - oro specifinė šiluma $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$;

Sunaudojamo oro masė per 1 h šaldant

$$G = \frac{Q}{q} = \frac{0.250 \times 10^6}{3.012 \times 10^3} = 83.00 \text{ kg} / \text{h} \quad (22)$$

$$q_s = \Delta t_k c_p = 3 * 1.004 * 10^3 = 3.012 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (23)$$

5.3. Sūkurinio vamzdžio skaičiavimas

Sūkurinio vamzdžio matmenis parenku pagal 1.1 lentelę [12]

Sūkurinio vamzdžio diametras : $D = 16 \text{ mm}$.

Plotas oro įėjimui $F_c = 18 \text{ mm}^2$

Diafragmos diametras $D_d = 7.2 \text{ mm}$

Todėl skaičiuojame sūkurinio vamzdžio energetinius parametrus.

Sūkurinis vamzdis naudoja suslėgtą orą, kurio parametrai:

Pradinė temperatūra: $T_1 = 20^\circ \text{C}$

Oro slėgis $P_1 = 0.6 \text{ MPa}$

Kadangi sūkurinis vamzdis skirtas šaldyti ir šildyti oro srautus,

šių srautų parametrai pagal duomenis:

$$T_k = +60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Skaičiuojame sūkurinio vamzdžio parametrus pagal šaltą oro srautą.

Norint atšaldyti orą iki $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ reikalingas šaldymo efektyvumas

$$\Delta t_s = T_1 - T_s = 20 - (-20) = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (24.)$$

čia: Δt_s - šaldymo efektyvumas $^{\circ}\text{C}$;

T_1 – pradinė oro temperatūra $^{\circ}\text{C}$;

T_s – šalto oro temperatūra $^{\circ}\text{C}$;

Sūkurinio vamzdžio sukuriamas šilumos kiekis per vieną valandą šaldant

$$Q_s = G * q_s * \tau = 0.073 * 24.096 * 10^3 * 3600 = 6.332 \text{ MJ} \quad (25.)$$

Čia: Q_s - šilumos kiekis šaldant J;

G – suminė svorinė oro išeiga kg/s ;

q_s – lyginamasis šalto oro našumas J/kg;

τ - laikas per kurį sukuriamas šilumos kiekis šaldant s;

$$\tau = 3600 \text{ s}$$

Skaičiuojame suminę svorinę išeigą:

$$\begin{aligned} G &= F_c P_1 \left(\frac{kg}{RT_1} \right)^{0.5} \frac{M_1}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_1^2 \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}} = \\ &= 18 * 10^{-6} * 0.6 * 10^6 \left(\frac{1.4 * 9.81}{287.04 * 293} \right)^{0.5} * \\ &* \frac{0.7}{\left(1 + \frac{1.4-1}{2} 0.7^2 \right)^{\frac{1.4+1}{2(1.4-1)}}} = 0.073 \frac{kg}{s} \end{aligned} \quad (26.)$$

čia: F_c – įėjimo plotas m^2 ;

P_1 – pradinis oro slėgis Pa;

k – adiabatės eksponentė;

g – laisvo kritimo pagreitis $\frac{m}{s^2}$;

R – dujų konstanta $\frac{J}{kgK}$;

T_1 – suslėgto oro temperatūra K;

M_1 – Macho skaičius .

$$F_c = 47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$P_1 = 0.6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$k = 1.4$ dviatomėm dujom

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

pagal 1.1 lentelę [2]

$$R = 287.04 \frac{J}{kgK}$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

Macho skaičius

$$M_1 = f\pi \quad (27.)$$

π – absoliutinis slėgio dydis

$$\pi = \frac{p_1}{p_s} = \frac{0.6}{0.3} = 2 \quad (28)$$

p_s – šalto oro srauto slėgis. Pa;

Kadangi šiltas ir šaltas oro srautai tai priimame, kad įeinančio oro slėgis dalinasi į vienodas dalis t.y.

$$p_s = p_k = 0.3 \text{ MPa}$$

Tuomet

$$\pi = \frac{0.6}{0.3} = 2 \quad (29)$$

pagal priklausomybę 2.4 pav. [8]

$$M_1 = 0.7$$

Šalto oro našumas

$$q_s = \mu \Delta t_s c_p = 0.6 \cdot 40 \cdot 1.004 \cdot 10^3 = 24.096 \frac{kJ}{kg} \quad (30.)$$

čia: q_s – lyginamasis šalto oro našumas $\frac{J}{kg}$;

μ - svorinė šalto oro dalis;

Δt_s - šaldymo efektyvumas K;

c_p - oro specifinė šiluma $\frac{J}{kgK}$;

$\mu = f \Delta t_s$ priklauso nuo absoliutinio diafragmos dydžio.

$$\overline{d}_d = \frac{D_d}{D} = \frac{7.2}{16} = 0.45 \quad (31)$$

čia: D_d – diafragmos skersmuo mm ;

D – sūkurinio vamzdžio skersmuo mm;

Pagal priklausomybę 1.7. pav. [12]

$\mu = 0.6$

$$c_p = \frac{kR}{k-1} = \frac{1.4 * 287.04}{1.4-1} = 1.004 \frac{kJ}{kgK} \quad (32)$$

čia: c_p - oro specifinė šiluma

k – adiabatės eksponentė

R – dujų konstanta $\frac{J}{kgK}$;

Priklausomai nuo šalto oro srauto bus sukuriamas šilto

oro srauto temperatūra.

$$T_k = T_1 + \Delta t_k = 20 + 60 = 80 ^\circ C \quad (33.)$$

čia: T_1 – pradinė oro temperatūra $^\circ C$;

Δt_k – šildymo efektyvumas $^\circ C$;

$$\Delta t_k = \frac{\mu \Delta t_s}{1-\mu} = \frac{0.6 * 40}{1-0.6} = 60 ^\circ C \quad (34.)$$

čia: μ - svorinė šalto oro dalis;

Δt_s - šaldymo efektyvumas $^\circ C$;

Sūkurinio vamzdžio sukuriamas šilumos kiekis per vieną valandą šildant

$$Q_k = G * q_k * \tau = 0,073 * 36.144 * 10^3 * 3600 = 9,497 \text{ MJ} \quad (35.)$$

čia: Q_k - šilumos kiekis J;

G – suminė svorinė oro išeiga kg/s ;

q_k – lyginamasis šilto oro našumas J/kg ;

τ - laikas per kurį sukuriamas šilumos kiekis s;

$$\tau = 3600 \text{ s}$$

Šilto oro našumas

$$q_k = \mu \Delta t_k c_p = 0.6 * 60 * 1.004 * 10^3 = 36.144 \frac{kJ}{kg} \quad (36)$$

čia: q_k – lyginamasis šalto oro našumas $\frac{J}{kg}$;

μ - svorinė šalto oro dalis;

Δt_k - šildymo efektyvumas $^{\circ}C$;

c_p - oro specifinė šiluma $\frac{J}{kgK}$;

6. Eksperimentas jo ir rezultatų palyginimas

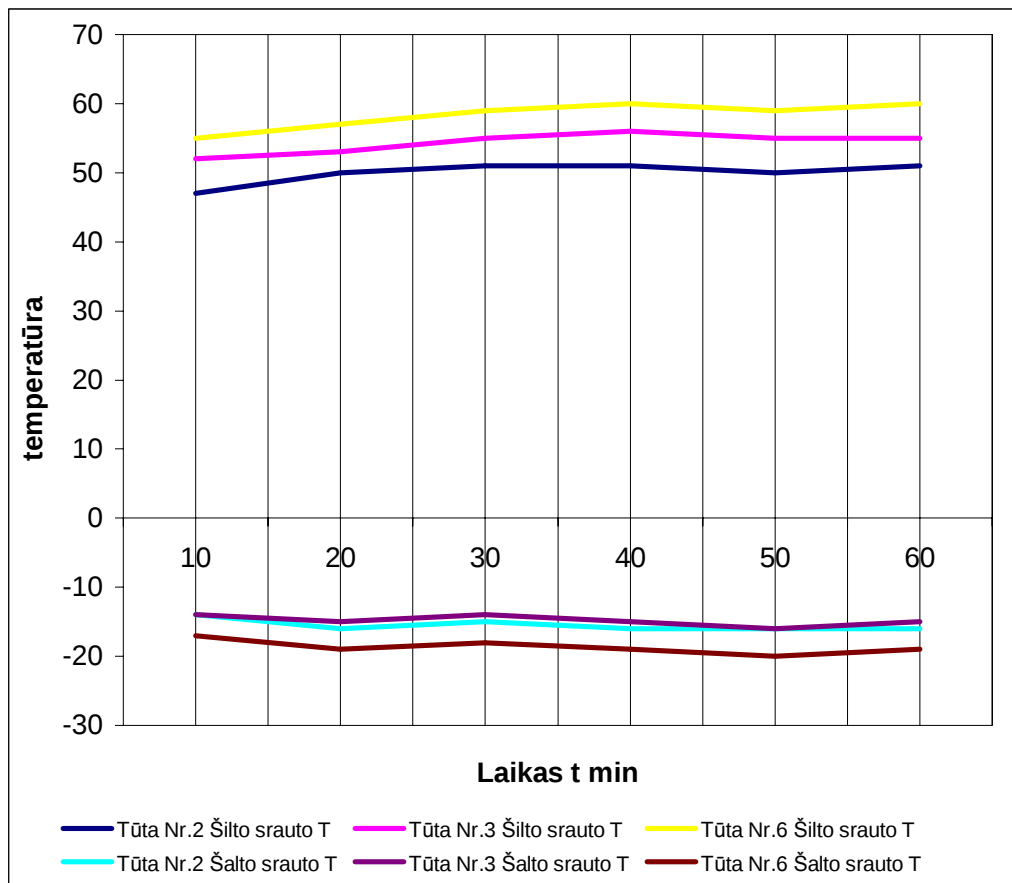
Atliekant eksperimentą buvo naudojamas pagal atliktus skaičiavimus suprojektuotas sūkurinis vamzdis. Iš pradžių buvo patikrintas sūkurinio vamzdžio efektyvumas. Tikrinama buvo šilto ir šalto oro srautų sukuriama temperatūra. Eksperimentui atlikti buvo naudojamos trejos tūtos Nr. 2; 3; 6; žiūrime 1-elę. Eksperimento metu tiekiamo oro srauto slėgis buvo pagal užduotas projektavimo sąlygas 0.6 MPa. Stabilumas buvo tikrinamas rotometru. Oro srauto slėgis nebuvo keičiami, buvo keičiamos tik tūtos. Temperatūros buvo matuojamos dešimties minučių intervalais. Su kiekviena tūta atlikto bandymo trukmė 1 valanda. Atlikę efektyvumo bandymus su sūkuriniu vamzdžiu gavome rezultatus 4 lentelė.

4 lentelė. Sūkurinio vamzdžio matavimo rezultatai

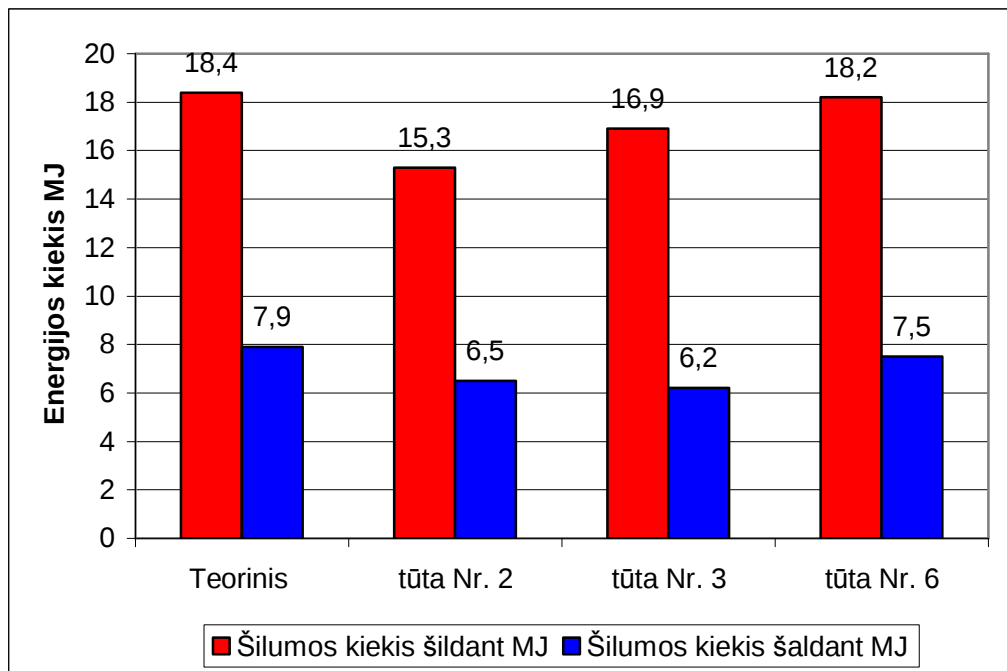
Laikas t min		10	20	30	40	50	60	T °C vid.
Tūta Nr.2	Šilto srauto T °C	48	50	51	51	50	51	50
	Šalto srauto T °C	-14	-15	-16	-16	-16	-16	-16
Tūta Nr.3	Šilto srauto T °C	52	53	55	56	55	55	54
	Šalto srauto T °C	-14	-15	-14	-15	-16	-15	-15
Tūta Nr.6	Šilto srauto T °C	55	57	59	60	59	60	58
	Šalto srauto T °C	-17	-19	-18	-19	-20	-19	-19

Gautų rezultatų temperatūrų kitimas laike grafiškai pateiktas 21. pav. Iš gautų rezultatų matome jog geriausius rezultatus parodė sūkurinis vamzdis su tūta Nr. 6.

Pagal sūkurinio vamzdžio skaičiavimo metodiką paskaičiuojami sukuriama energijos kiekius kuriuos sukuria kiekviena tūta eksperimento metu. Sukuriama energijos kiekiai pavaizduoti 22 pav.



21 pav. Sūkurinio vamzdžio sukuriama temperatūra



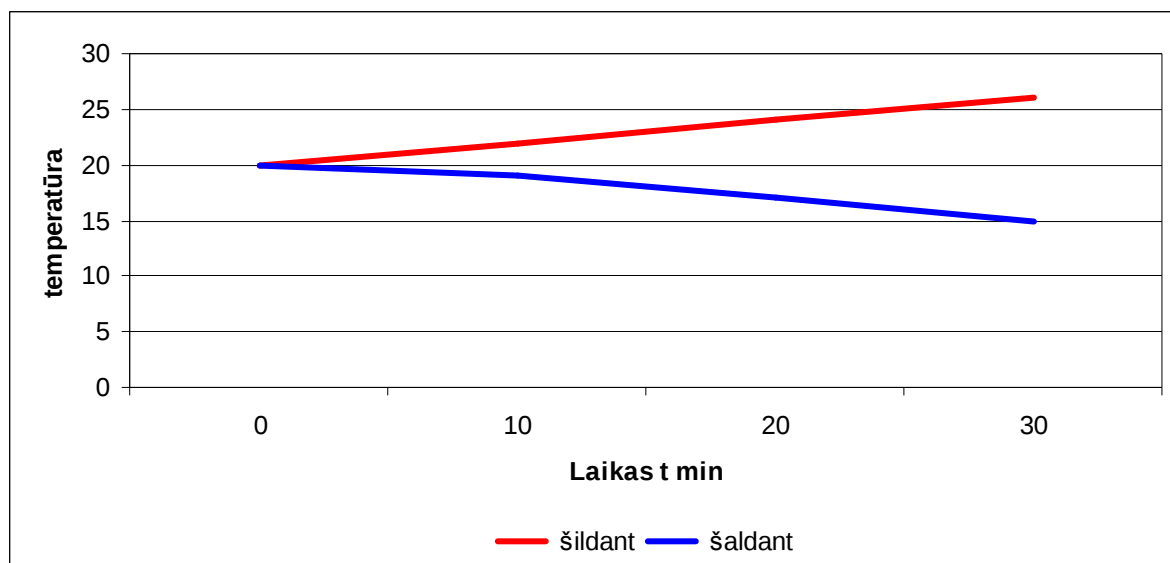
22 pav. Sūkurinio vamzdžio sukuriamas energijos kiekis per 1 val.

Tolimesni bandymai atliekami su aeravimo sistema siekiant pakeisti rezervuare esančio vandens temperatūrą. Aeravimui naudojamas lėkštinis aeratorius (3 pav). Eksperimentas atliekamas naudojant sūkurinį vamzdį su tūta Nr. 6. Šio bandymo metu buvo siekiama patikrinti teorinių skaičiavimo rezultatų tikslumą. Bandymo metu tiekiamas oro srautas iš sūkurinio vamzdžio nebuvo maišomas, tačiau tiekiamo oro temperatūra buvo sumažinta, šilto srauto iki 5 °C, o šalto srauto iki -3 °C. Šaldymo maketo vaizdas a, b, 24 pav., šildymo maketo vaizdas a, b, 25 pav. Bandymo metu buvo dešimties minučių intervalu buvo matuojama vandens temperatūra gauti matavimo rezultatai pateikti 5 lentelėje. Temperatūra buvo matuojama paprastu termometru, kadangi rezervuare vykstantys procesai yra lėti be staigių pokyčių.

5 lentelė. Šildymo šaldymo eksperimento rezultatai

Laikas min	0	10	20	30
Temperatūra °C šildant	20	22	24	26
Temperatūra °C šaldant	20	19	17	15

Kaip matome pagal rezultatus nubraižē kreives 23 pav temperatūra kinta tolygiai.



23 pav. Vandens temperatūros kitimo kreivēs



b)

24 pav. Stendo bendras vaizdas šaldant



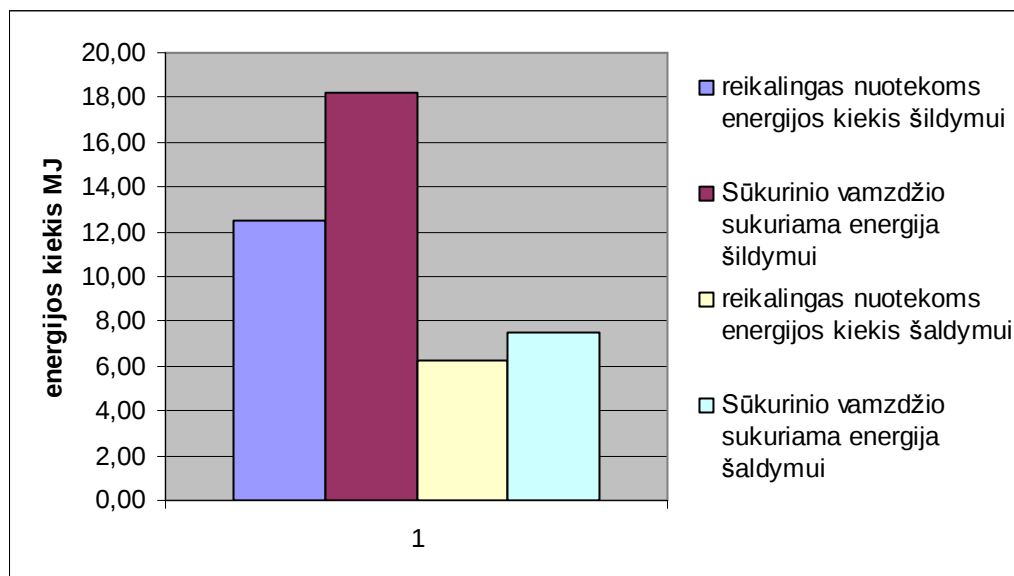
a)



b)

25 pav. Stendo bendras vaizdas šildant

5.1 skyriuje paskaičiuoto reikiamo energijos kiekio ir sūkurinio vamzdžio sukuriamos energijos palyginimas 26 pav



26 pav. Energijos kiekių palyginimas

Kaip matome sūkurinio vamzdžio oro srautų sukuriamos energijos visiškai pakanka aušinti ir vieną kubinį metrą nuotekų.

Išvados

1. Biologinio proceso efektyvumo analizė parodė, kad stabilizuoti procesą ir užtikrinti aukštą išvalymo kokybę nuotekų temperatūra turi būti $15 \div 20$ °C diapazone.
2. Tikslingiausia nuotekų temperatūrą palaikyti keičiant tiekiamo į nuotekas aeravimui oro temperatūrą.
3. Sūkurinio vamzdžio sukuriama galimybė leidžia šildyti ir šaldyti oro srautą, kurio energijos užtenka pašildyti ar atšaldyti nuotekas iki optimalios temperatūros.

Literatūra

1. Butkus A. Automobilių ir traktorių variklių projektavimas V.: Mokslas 1985. –270 p.
2. Gimbutis G., ir kt. Šiluminė technika V.: Mokslas 1993. - 333 p.
3. Matuzevičius A. Nuotekų valymas aktyviuoju dumbly V.: Technika 1998. -80 p.
4. Šukys R., ir kt. Žmonių sauga darbe. Laboratoriniai darbai V.: Technika 2000. –110 p.
5. Švenčianas P., Narbutas T. Šiluminė technika K.: Technologija 1997. -220 p..
6. LST EN 1085:2003. Nuotekų valymas Terminai ir apibrėžimai Lietuvos standartizacijos departamentas, TK 29 Vilnius 2003 – 56p
7. Martinaitis V. Techninė termodinamika Vilnius : Technika, 1998 -159 p
8. Strusevičius, Z. Nuotekų, atliekų ir mėšlo tvarkymas žemės ūkyje. Vilnius 1996
9. **Punys, P., Burneikis, J** Parengti detalią vandens išteklių naudojimo ir apsaugos strategiją iki 2005 m. Kaunas 1999
10. Б. М. Худенко Аераторы для очистки сточных вод Москва 1973
11. Брагинский Л. Н и др. Моделирование аерационных сооружений для очистки сточных вод Л.: Химия. 1980. –144 с.
12. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике М.: Машиностроение 1969. –185 с.
13. Попкович Г. С., Репин Б. Н. Системы аерации сточных вод М.: Стройиздат. 1986. –136 с.
14. Патент Ru 2023682 C1
15. Патент Ru 2056600 C1
16. Патент Su 1794233 A3
17. Усанкин Н. Г. Автоматические гальванические линии с программным управлением М.: Машиностроение 1967. -85 с.
18. Яковлев.С.В., Воронов Ю.В. Водотведение й очистка сточных вод М.: АСВ. 2002. – 704 с.
19. www.arizonavortex.com/ - 9k
20. www.artxlt.com/vortex/features.shtml
21. www.cbm.ro/termidet.htm
22. www.drydenaqua.com
23. <http://www.ecomallbiz.com/plasticsonline/displayroom>
24. www.exair.com

25. www.inmel.com
26. www.southstreet.freeseve.co.uk/rhvtmatl/ - 7k
27. [www.uswaternews.com/byrsguides/industrwwtreatbg/ filtratplant.html](http://www.uswaternews.com/byrsguides/industrwwtreatbg/filtratplant.html) - 2k
28. www.kaunovandenys.lt/
29. www.traidenis.lt
30. www.eneka.lt
31. www.vv.lt/
32. www.ekotakas.lt/
33. www.ekuva.lt
34. www.waterland.lt/
35. www.labko.lt
36. www.visi.com
37. www.newmantools.com
38. www.montagar.com
39. www.oberlin.edu
40. www.lenntech.com/aeration
41. www.clean-flo.com/restoration/waste
42. www.aeromix.com
43. www.edinboro.net/
44. www.waterandwastewater.com
45. www.medgana.lt
46. www.asa.lt
47. www.vilpra.lt
48. www.ktu.lt

PRIEDAS

Sūkurinio vamzdžio aeravimo sistemose panaudojimo galimybių tyrimas

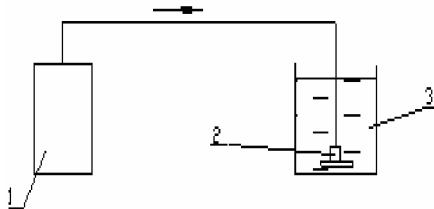
Arvydas Matutis, Vytautas Striška (VGTU)

Anotacija

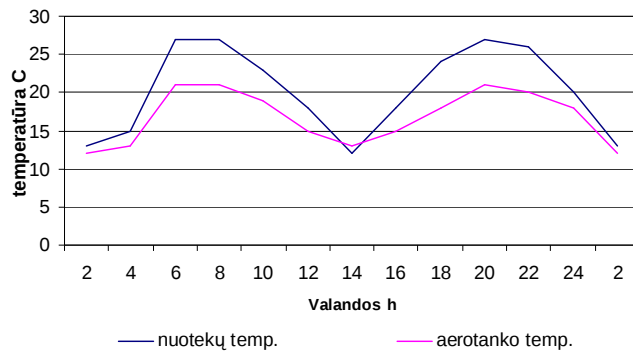
Straipsnyje aprašytas biologinio nuotekų valymo įrenginys jo veikimas. Išvalymo priklausomybė nuo nuotekų temperatūros. Nagrinėjami pagrindiniai sūkurinio efekto gavimo įrenginiai. Nurodomi pagrindiniai sūkurinio vamzdžio konstrukciniai elementai. Lentelėje pateikti tūtinio įėjimo galimi konstrukciniai sprendimai. Plačiau aprašomas siūlymas sūkurinį vamzdį naudoti kaip šilumos ir šalčio generatorių. Siūloma šildymą, šaldymą bei maišymą atlikti taikant nuotekų aeraciją panaudojant sūkurinį efektą.

1. Įvadas

Biologinio valymo metu reikalinga tiekti į nuotekas orą kuris aprūpina mikroorganizmus deguonimi. 1 pav. pavaizduotas klasikinis nuotekų valymo įrenginys. Jį sudaro: kompresorius (orapūtė) 1, aeratorius 2, rezervuaras 3. Priklausomai nuo metų laiko nuotekų temperatūra kinta nuo $+8^{\circ}$ iki $+30^{\circ}\text{C}$. Taip pat nuotekų temperatūra kinta ir nuo paros laiko. Jų temperatūros kitimo kreivė 2 pav. Šioje kreivėje pavaizduota kitimo temperatūra pavasario, vasaros, rudenio periode. Žiemos periodu nuotekų temperatūra priklauso nuo valymo sistemos įrengimo. Kad sėkmingai vyktų mikroorganizmų dauginimasis, biologinio valymo metu rezervuare 3 turi būti palaikoma temperatūra. $+15^{\circ}\text{C}$ nes padidėjus ar sumažėjus temperatūrai lėtėja mikroorganizmų dauginimasis. Kaip matome 2 – am pav. aerotanke tam tikru laiko momentu nuotekų temperatūrą reikia mažinti ar didinti.



1 pav. Klasikinis nuotekų valymo įrenginys



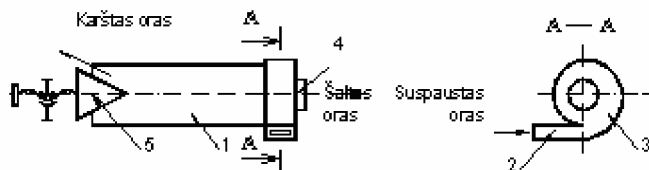
2 pav. Nuotekų temperatūros kitimas paros metu

2. Teorinė dalis

Norint užtikrinti nuotekų išvalymo kokybę, reikia reguliuoti jų temperatūrą papildomomis priemonėmis.

Šiai problemai spręsti, galime panaudoti sūkurinį vamzdį. Dėl savo ypatingų savybių sūkurinis efektas gali būti lengvai pritaikytas įvairiose technikos ir gamybos srityse. Sūkurinį vamzdį galima naudoti kaip šaltčio ir šilumos generatorių, vakuuminį siurbį, gigrometrą, termometrą ar sūkuriniu efektu šalinti drėgmę dujose.

Sūkurinis efektas (arba Ranko efektas) pasireiškia užsuktame klampių spaudžiamų dujų sraute ir realizuojamas labai paprastame prietaise, vadinamame sūkuriniu vamzdžiu (Ranko – Hilšo vamzdžiu, sūkuriniu šaldytuvu – šildytuvu), kurio principinė schema pavaizduota 3 pav.



3 pav. Sūkurinio vamzdžio schema

Sūkurinis vamzdis susideda iš glotnaus cilindrinio vamzdžio 1, sujungto su tangentine tūta 2, sraige 3, diafragma 4 su ašine kiauryme ir droseliu 5.

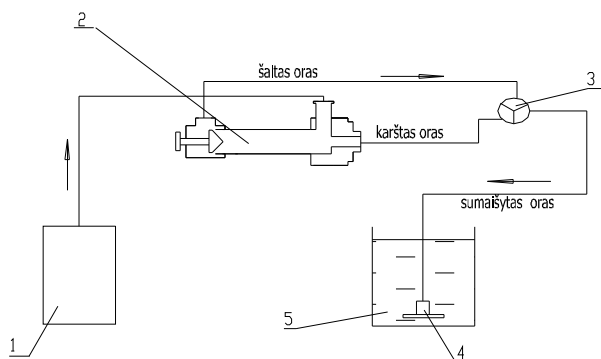
Įtekant dujoms pro tūtą susidaro intensyvus sūkurinis srautas, kurio ašiai artimesni sluoksniai gerokai atšąla ir nuvedami pro diafragmos 4 kiaurymę kaip

šaltas srautas. Tuo tarpu periferiniai sluoksniai sušyla ir nuvedami kaip karštas srautas pro droselį 5.

Anot R. Hilš, V. Martynovskij ir V. Aleksejev, optimalus vamzdžio sūkurinės zonos ilgis (atstumas tarp tūtos ir karšto srauto droselio) būtų 50 kalibrų. Tuo tarpu A. Merkulovo pasiūlytas patobulinimas leidžia vamzdžio ilgį sutrumpinti iki 9 kalibrų. A. Merkulovas prieš karšto srauto droselį įmontavo keturių menčių kryžmę, kuri išlygina sūkurinį srautą. Tai leidžia gerokai sutrumpinti sūkurinės zonos ilgį ir tuo tarpu sūkurinio vamzdžio gabaritus. Iš pirmo žvilgsnio paprastai atrodantis sūkurinis efektas iš tikrųjų yra sudėtingas dujų dinaminis procesas, vykstantis klampių spaudžiamų dujų turbulenciniame sraute.

3. Eksperimentinė dalis

Nuotekų valymo sistema su sūkuriniu vamzdžiu kuris naudojamas šildymui ar šaldymui. Tokios sistemos schema pavaizduota 4 pav.

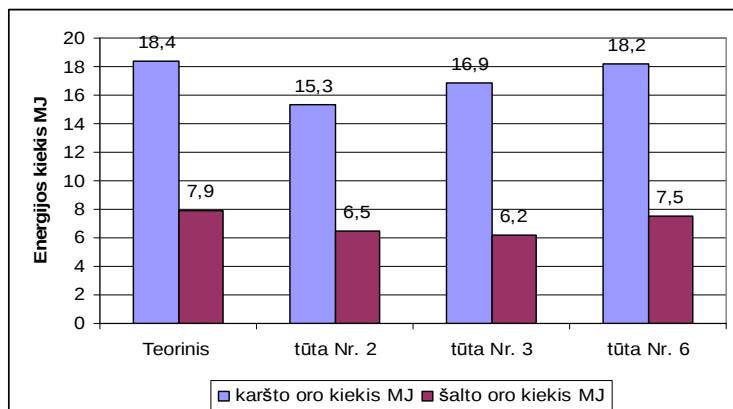


4 pav. Nuotekų valymo panaudojant sūkurinį vamzdį maketas: 1 – kompresorius, 2 – sūkurinis vamzdis, 3 – maišytuvas, 4 – aeratorius, 5 - rezervuaras

Slėgį sūkuriniame vamzdyje galima reguliuoti žiūrėti 3 pan. droseliu 5. Prisukus droselį 5 bendras slėgis vamzdyje 1 padidėja. Todėl šalto srauto debitas padidėja, atitinkamai sumažėjus karštam srautui. Taip pat keičiant droselio 5 padėtį keičiasi ir šalto bei karšto srauto temperatūra. Iš vamzdžio išeinantys karšto ir šalto oro srautai nuvedami į maišytuvą 3. Sumaišytas oro srautas tiekiamas į rezervuarą 5 per aeratorių 4. Oro burbuliukai, kildami iš apačios į viršų, šildo arba šaldo nuotekas, taip pat jas ir maišo.

4. Rezultatų analizė

Atlikus eksperimentus su tūtomis Nr. 2; 3; 6; žiūrime 1-elę. Su kiekviena tūta bandymo trukmė 1 valanda. Kaip matome pagal 5 pav. atlikę bandymus su skirtingomis tūtomis gaunami rezultatai artimiausi teoriniams su tūta Nr. 6.



5 pav. sūkurinio vamzdžio sukuriamas energijos kiekis

Teoriniai rezultatai yra kai aušinamas sūkurinio vamzdžio korpusas, atliekant bandymus aušinimas nebuvo naudojamas. Taip pat bandymų rezultatų neatitikimas atsiranda dėl tūtų išpildymo netikslumo.

Sukuriamas energijos kiekis nesunaudojamas, kadangi pašildyti 7 K ar atšaldyti 6 K, 0.05 m^3 vandens kai temperatūra $T_1 = 293 \text{ K}$.

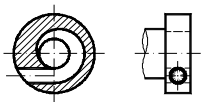
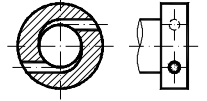
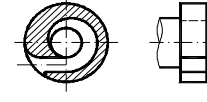
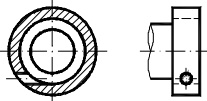
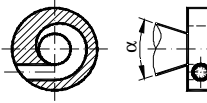
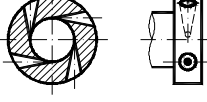
Sunaudojamas šilumos kiekis šildymui $Q = 1.584 \cdot 10^6 \text{ J}$, šalčio kiekis

atšaldymui $Q_A = 1.358 \cdot 10^6 \text{ J}$.

5. Išvados

Pirmieji rezultatai nuteikia optimistiškai ir galima teigti, kad sūkurinis vamzdis gali būti naudojamas nuotekų šaldymui bei šildymui. Galutiniai rezultatai bus gauti tolimesniuose eksperimentuose, kuriuose toliau bus tobulinama sistema, keičiami kai kurie parametrai siekiant surasti optimaliausią ir efektyviausią variantą.

1 lentelė. Sūkurių generatoriaus konstrukciniai variantai

Vamzdžio Nr.	Autorius	Tūtinio įėjimo konstrukcija	Sūkurių vamzdžio skersmuo, mm	Tūtinio įėjimo plotas F_e , mm ²	Sūkurių kiaušinių skersmuo D_b , mm	Sūkurių zonos skersmuo, kalibrais	Pastabos
1	R. Hilš		4.6 9.6 17.6	0.95 4.15 13.2	2.2 4.3 6.5	50 50 50	Apvali tūta
2	V. Martynovskij ir V. Aleksejev		4.1 9.0 16.0 28.0	0.8 8.3 24.0 56.5	1.5 4.5 7.5 12.0	67 50 50 50	Dviejų tūtų įėjimas
3	A. Merkūlov		10 16 20 25 33	7.6 18 30 47 84	4.5 7.2 9 11 14.5	9 9 9 9 9	Stačiakampė tūta
4	M. Dūbinskij		32		25		
5	V. Hendal		10	7	6	4	Kūginė tūta $\alpha = 7^\circ$
6	S. Fulton		6.1	0.8	1.75	33	Keturių ir šešių tūtų įėjimas

Literatūra

1. А. П. Меркулов. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 стр.
2. Н. Г. Усанкин. Автоматические гальванические линии с программным управлением. М.: Машиностроение, 1967. 84 стр.
3. Вихревой эффект и его применение в технике. Материал IV Всесоюзной научно – технической конференции. Куйбышев, 1984. 283 стр.
4. Matuzevičius A. Nuotekų valymas aktyviojo dumblo V.: Technika 1998. -80 p

Vortex tube for aeration system using possibility analysis

Summary

In this article is describe a biological waste water abstergent system and it works. Clearing dependence from waste water temperature . Pending main vortex effect creation equipment. There is named main vortex tube members. So there is shown the main elements of construction, different types of nozzles. Tender waste water heating and freezing do with aeration so do confution expendable vortex effect.