

ŠONINIŲ SIURBTUVŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Ina Tetsman¹, Vytautas Striška²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ²vytautas.striska@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjamos aplinkos apsaugos technologijos sprendžiant, kaip efektyviai rinkti, šalinti ir kontroliuoti oro teršalus, kurie susidaro virš galvaninių vonių garuojančių paviršių. Darbo tikslas – ieškoti būdų, kaip gerinti oro taršos surinkimą ir šalinimą bei mažinti jos kiekį ir priežiūros įrangos sąnaudas. Aptariamas taršos formavimasis, garų surinkimo šoninių siurbtuvų rūšys, jų veikimas, taip pat garų išsiskyrimo virš vonių ypatumai ir siurbtuvo efektyvumo priklausomybė nuo formos ir sukurto slėgio. Analizuojami siurbimo greičiai ir jų priklausomybės.

Reikšminiai žodžiai: galvaninė vonia, oro tarša, šoninis siurbtuvas.

Įvadas

Vietinių siurbtuvų paskirtis yra rinkti, šalinti nuo galvaninių vonių garuojančių paviršių oro teršalų kiekį, jį kontroliuoti ir užtikrinti, kad kenksmingų medžiagų koncentracija darbuotojo kvėpavimo zonoje neviršytų nustatytos Lietuvos higienos normos HN 23:2001 „Kenksmingų cheminių medžiagų koncentracijų ribinės vertės darbo aplinkos ore“.

Dėl padidėjusios kenksmingų medžiagų koncentracijos ore kyla rizika susirgti plaučių vėžiu, tirpalo lašeliai taip pat gali sukelti akių audinio, nosies ir gerklės nudegimus.

Taršos formavimasis

Šiuo metu Lietuvoje vis daugiau naudojama galvanizacijos technologijų, mažinančių metalo dirbinių koroziją, todėl galvaninių procesų taršos kontrolė yra itin aktuali.

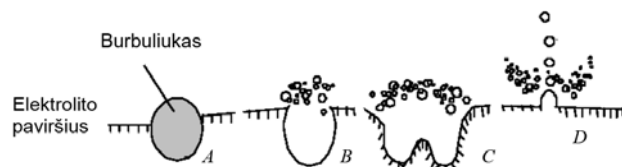
Galvaninė vonia gaminama iš standaus plastiko arba plieno su plastiko, gumos ar švino sluoksniu. Įjungus elektros srovę, ant elektrodų susidaro maži vandenilio, deguonies ir kitų dujų burbuliukai, išsiskiriantys iš tirpalo vykstant elektrocheminėms ir cheminėms reakcijoms. Jie yra pagrindiniai garų ir rūko šaltiniai virš galvaninių vonių. Burbuliukai (1 pav.) kyla į paviršių, sprogstą ir virš vonios sukuria rūką. Burbuliukų susidarymo greitis priklauso nuo metalo rūšies.

Taršos formavimasis virš garuojančių paviršių vyksta įvairiais būdais.

Elektrolizės metu išsiskiria vandenilis, vykstant cheminėms reakcijoms susidaro ir dujos. Išsiskiriančio vandenilio tūris elektrolizės metu esant normalioms sąlygoms skaičiuojamas pagal formulę

$$V_n = V_e E_s A \delta c (1 - C_1 - C_2) \quad (l/h), \quad (1)$$

čia V_e – elektrocheminis vandenilio ekvivalentas, lygus 0,418 l/Ah; E_s – lyginamasis elektros energijos sunaudojimas, esant 1 m² apdirbamos detalės paviršiaus ploto ir 1 μm padengimo storio, Ah/(m²μm); A – apdirbamos detalės paviršiaus plotas (valandinė programa), m²/h; δ – padengimo storis, μm; c – medžiagos koncentracija tirpale, g/l; C_1 – koeficientas, pagal kurį įvertinamos pagrindinės medžiagos (pvz., chromuojant pagrindinė medžiaga yra chromas), priklausomai nuo elektros energijos; C_2 – koeficientas, pagal kurį įvertinami katodinio ir anodinio proceso nuostoliai.



1 pav. Dujų burbuliukas prieš išeinant iš tirpalo (A); mažo skersmens rūko lašelių formavimasis, sprogstant dujų burbuliukams (B); skysčio srovės suformuotas krateris (C); didelių lašelių susidarymas ir išleidimas (D)

Fig. 1. The gas bubble shown just before release from the bath (A); small diameter mist droplets are formed as the film cap of the gas bubble breaks (B); a liquid jet is formed in the crater (C); large droplets formed and released from the jet (D)

Išsiskiriančio vandenilio tūris elektrolizės metu realiomis sąlygomis skaičiuojamas pagal formulę

$$V_r = V_n \frac{(273 + t)}{273} \cdot \frac{101,325}{p} \quad (l/h), \quad (2)$$

čia t – aplinkos temperatūra, °C; p – slėgis, MPa.

Šiomis formulėmis galima apskaičiuoti išsiskiriančio vandenilio tūrį vykstant įvairiems procesams. To reikia nustatant šalinamo oro sprogtamumo laipsnį. Skaičiavimus galima atlikti priklausomai nuo srovės, prijungtos prie vonios, ir nuo įjungimo laikotarpio, kai vonia naudojama įvairių matmenų detalėms apdirbti, kurių paviršiaus plotas ir padengimo storis yra nežinomi. Tokiu atveju didžiausias dujų tūris bus l/h :

$$V_n = IV_e (1 - C_1 - C_2) t_{rel}, \quad (3)$$

čia I – srovė, A; t_{rel} – laikotarpis, kai vonia prijungta prie srovės.

Dujų kiekį, išsiskiriantį chemiškai apdirbant metalus, galima apskaičiuoti pagal metalo ištirpimą – taikant cheminių reakcijų formulę

$$m_g = m_{met} K M_g / M_{met}, \quad (4)$$

čia m_g – išsiskiriančių dujų kiekis, kg/h; m_{met} – ištirpusio metalo masė, kg/h; K – dujų koeficientas, nustatytas iš cheminės reakcijos lygties; M_g ir M_{met} – dujų ir metalo molinės masės, kg/kmol.

Garuojant masė iš skysčio pernešama į aplinką. Garuojančios medžiagos kiekis skaičiuojamas pagal formulę

$$m = (40,35 + 30,75v) p \sqrt{M} A \cdot 10^{-6} \text{ (kg/h)}, \quad (5)$$

čia v – oro judėjimo greitis virš garuojančio paviršiaus, m/s; p – dalinis garų slėgis, Pa; M – molinė masė, kg/kmol; A – garuojančio paviršiaus plotas, m^2 .

Atviroms vonioms su šoniniais siurbtuvais galima pritaikyti linijinio srauto dėsnį ir gauti priklausomybę pagal formulę

$$m = 0,93 C_t D (c_1 - c_2) V^{0,9} b^{0,1} \psi^{-0,9} A \text{ (kg/h)}, \quad (6)$$

čia C_t – koeficientas, priklausantis nuo skysčio ir aplinkos temperatūros skirtumo:

$t_{lig} - t_a$	10	20	30	40	50
C_t	0,614	0,58	0,54	0,48	0,44

D – garų difuzijos į orą koeficientas, m^2/h ; c_1 ir c_2 – medžiagos koncentracija garuose tirpalo paviršiuje ir patalpos ore, kg/m^3 ; V – oro debitas, šalinamas šoniniu siurbtuvu, m^3/h ; b – vonios plotis, m; ψ – oro pritekėjimo prie plyšio kampas, rad. (jei siurbtuvas yra prie sienos ar šalia yra kita vonia su siurbtuvu, $\psi = 0,5\pi$; jei siurbtuvas yra šalia kitos vonios be siurbtuvo, $\psi = \pi$; jei vonia įrengta atskirai, toliau nuo sienos, $\psi = 1,5\pi$).

Garų koncentracija nustatoma iš dalinių slėgių ir skaičiuojama pagal formulę

$$c = \frac{M}{M_a} \cdot \frac{p}{p_b - p} \rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad (7)$$

čia M ir M_a – nagrinėjamos medžiagos ir oro molinės masės, kg/kmol; p – dalinis garų slėgis, Pa; p_b – atmosferos slėgis, kPa; ρ_a – oro tankis esant paviršiaus garavimo temperatūrai, kg/m^3 .

Difuzijos koeficientas D esant temperatūrai t ir slėgiui p_b skaičiuojamas pagal formulę

$$D = D_o \left(\frac{273+t}{273} \right)^2 \frac{101,325}{p_b} \text{ (m}^2\text{/h)}, \quad (8)$$

čia D_o – difuzijos koeficientas normaliomis sąlygomis, m^2/h .

Kai vienodos sąlygos, dviejų dujų difuzijos greičių santykis yra atvirkščiai proporcingas jų molinių masių kvadratinėms šaknims ir skaičiuojamas pagal formulę

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}. \quad (9)$$

Taikant šį dėsnį, galima nustatyti įvairių dujų ir garų difuzijos koeficientą.

Tirpalo išnešimas detalėmis. Tirpalo masė, išnešama į orą detalėmis, skaičiuojama pagal formulę

$$m = AV_s \delta c \text{ (g/h)}, \quad (10)$$

čia A – apdirbamos detalės paviršiaus plotas (valandinė programa), m^2/h ; V_s – lyginamasis tirpalo išnešimas, esant $1 m^2$ apdirbamos detalės paviršiaus ploto ir $1 \mu m$ padengimo storio, $l/(m^2 \times \mu m)$; δ – padengimo storis, μm ; c – medžiagos koncentracija tirpale, g/l .

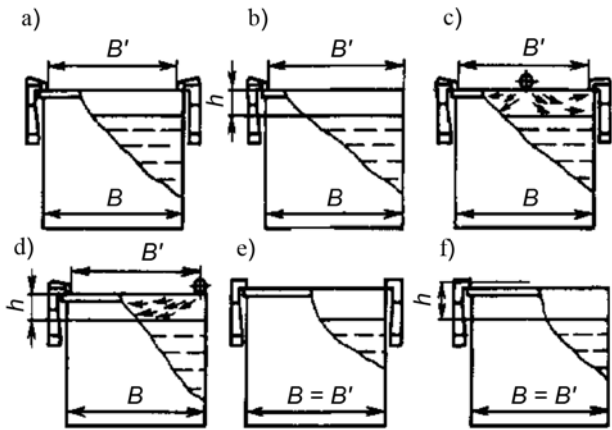
Esant neefektyviam šoninių siurbtuvų darbui, teršalai pasklinda aplinkoje ir ją užteršia. Teršalų koncentracija priklauso nuo metalo jonų koncentracijos, srovės tankio, vonios priedų ir vonios temperatūros. Norint pagerinti padengimo kokybę naudojamas orinis ar mechaninis maišymas vonioje, galintis sukelti rūką.

Garų surinkimo šoninių siurbtuvų rūšys ir veikimas

Vietinio šalinimo sistema – tai siurbtuvas ir įranga. Siurbtuvo forma ir efektyvumo reikalavimai priklauso nuo technologinio proceso ir jame naudojamų medžiagų savybių.

Vietiniai siurbtuvai skirstomi į atviro ir uždarosios, su sienelėmis ir darbo angomis. Uždarieji siurbtuvai nebūtinai turi turėti kietas sieneles, juos gali riboti oro srovės, atskiriančios užterštą zoną nuo švarios. Papildoma pučiamo oro srovė gali nukreipti teršalus į siurbimo angą – tokie siurbtuvai vadinami aktyvuotais.

2 paveiksle parodyti šeši garų siurbtuvai, kurie gali būti montuojami galvaninėje vonioje prie atviro paviršiaus. Visi šie siurbtuvai vadinami šoninio siurbimo siurbtuvais, nes jie siurbia orą nuo viso skysčio paviršiaus iš šono.



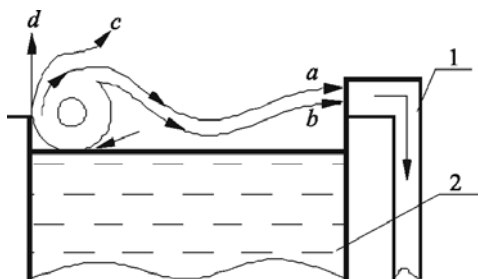
2 pav. Šoniniai siurbtuvai: dvipusis apverstas (a); vienpusis apverstas (b); dvipusis aktyvuotas apverstas (c); vienpusis aktyvuotas apverstas (d); dvipusis (e); vienpusis (f)

Fig. 2. Side exhausters: two-sided upside-down (a); one-sided upside-down (b); two-sided active upside-down (c); one-sided active upside-down (d); two-sided (e); one-sided (f)

Įvertinus oro mėginius, paimtus iš darbo aplinkos ir bendros vėdinimo sistemos, gali būti vertinamas ištraukiamosios ventiliacijos veiksmingumas. Dėl darbo kanalų korozijos reikia reguliariai tikrinti šalinimo sistemą.

Aerozolių judėjimo trajektorija

Siurbiant šoniniu siurbtuvu galima stebėti sudėtingą procesą, vykstantį virš išilusio skysčio paviršiaus: veikiant kėlimo jėgai aerosolis kyla į viršų, o vonios krašte esantis siurbtuvas turi sukurti tokį oro judėjimo greitį, kad aerosolis būtų priverstas pakeisti judėjimo kryptį į siurbtuvo plyšį. Kai siurbtuvas neveikia arba nepakankamai siurbia (3 pav.), aerosolis, esantis priešingoje pusėje nuo siurbtuvo plyšio (judėjimo kryptį žymi raidės *c* ir *d*), nesusiurbiamas. Kai siurbtuvas veikia gerai, aerosolis susiurbiamas (judėjimo kryptį žymi raidės *a* ir *b* (3 pav.). Didinant siurbimo debitą, aerozolio trajektorijos iškilimas mažėja (raidė *b*).

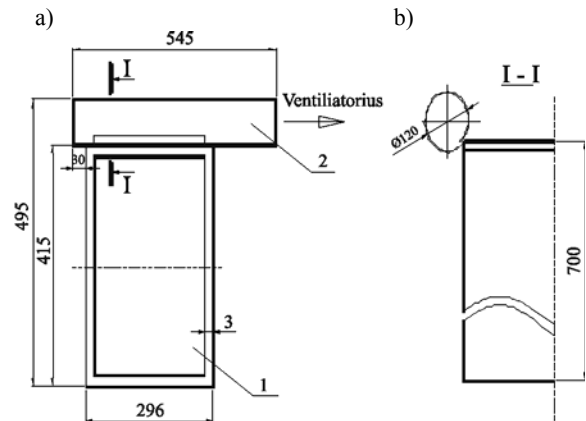


3 pav. Garų ir aerozolių judėjimas virš išilusios vonios: 1 – siurbtuvas; 2 – vonia

Fig. 3. Motion of vapours and aerosols over a warmed-up tank: 1 – exhauster; 2 – tank

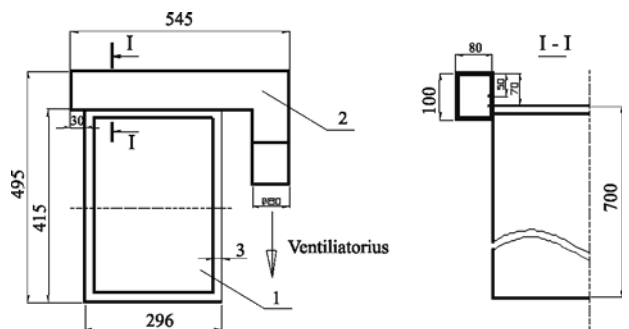
Tyrimo metodas

Darbo tikslas – gerinti oro taršos surinkimo ir šalinimo efektyvumą, taip pat mažinti jos kiekį ir priežiūros įrangos sąnaudas. Tyrimo metu nagrinėti du skirtingų formų vienpusiai siurbtuvai: sūkurinis (4 pav.) ir stačiakampio skerspjūvio (5 pav.) formos. Siurbtuvai paeiliui buvo sujungiami su ventiliatoriais (skirtingų slėgių), kurių debitas $271 \text{ m}^3/\text{h}$ ir $600 \text{ m}^3/\text{h}$, tai leido palyginti kuriamą siurbimo greitį 6 taškuose (6 pav.).



4 pav. Sūkurinio siurbtuvo schema: vonia (a); siurbtuvas (b)

Fig. 4. Scheme of a vortex exhauster: tank (a); exhauster (b)

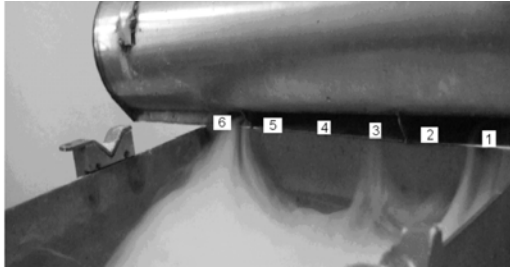


5 pav. Stačiakampio skerspjūvio siurbtuvo schema: 1 – vonia; 2 – siurbtuvas

Fig. 5. Scheme of a rectangular cross-section exhauster: 1 – tank; 2 – exhauster

Siurbtuvų efektyvumas vertintas vizualiai. Garams vizualizuoti buvo naudojamos 16 mm skersmens sauso ledo granulės. Siurbtuvui veikiant, garai būna nukreipti į siurbtuvą (6 pav.), o neveikiant – patenka į aplinką (7 pav.). Stačiakampio skerspjūvio ir sūkurinio (6 pav.) siurbtuvų siurbimo angų 6 taškuose buvo matuotas greitis.

Greičio pokyčiai pavaizduoti 8 ir 9 pav. Išmatavus galima tvirtinti, kad siurbtuvo efektyvumas priklauso ne tik nuo šalinamo oro debito, bet ir nuo sukurto siurbimo greičio, slėgio ir siurbtuvo skerspjūvio formos.



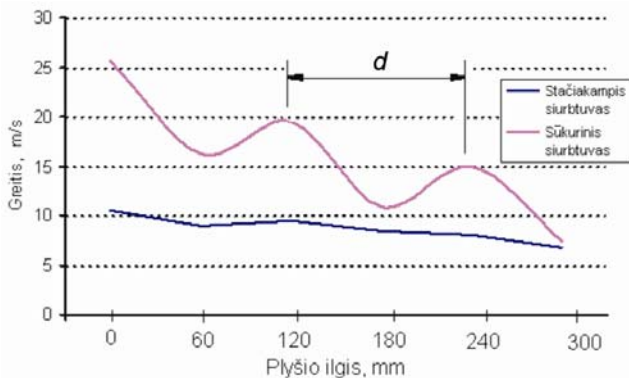
6 pav. Matavimo taškai sūkurinio vienpusio siurbtuvo siurbimo plyšyje

Fig. 6. Measuring points in the sidedraft slot of a vortex one-sided exhauster



7 pav. Garų išsiskyrimas virš vonios siurbtuvui neveikiant

Fig. 7. Separation of vapours over the tank when an exhauster is not operating

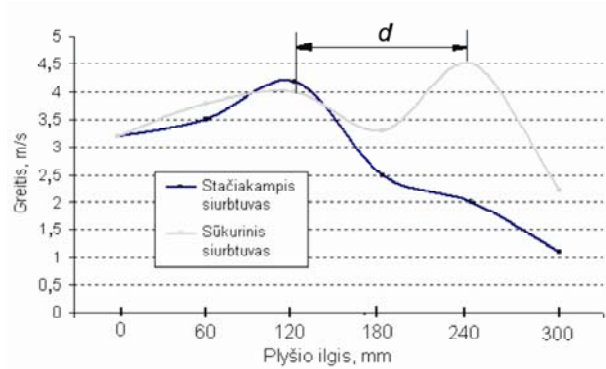


8 pav. Sūkurinio ir stačiakampio skerspjūvio siurbtuvų greičio pokytis plyšių ilgiuose (aukštojo slėgio ventilatorius), plyšio matmenys 20×300 mm

Fig. 8. Alteration of velocity in the lengths of slots of vortex and rectangular cross-section exhausters (high-pressure ventilator), measurements of slot 20×300 mm

Pastebėta, kad iš sūkurinio siurbtuvo išeinančių sūkurių kartotinumai sutampa su siurbtuvo skersmeniu. Esant siurbimo kliūčių, taršą geriau galima pašalinti sūkuriniu siurbtuvu.

Siurbiant susidaro sūkuriai, verčiantys teršalus nuo vonios paviršiaus judėti prie laisvų vonios kraštų. Vizualiai nagrinėjant sūkurius, galima daryti išvadą, kad sūkurių skersmuo priklauso nuo atstumo tarp vandens lygio ir vonios krašto. Kuo didesnis atstumas iki vonios skysčio paviršiaus, tuo didesnis sūkurių skersmuo.



9 pav. Sūkurinio ir stačiakampio skerspjūvio siurbtuvų greičio pokytis plyšių ilgiuose, plyšio matmenys 20×300 mm

Fig. 9. Alteration of velocity of vortex and rectangular cross-section exhausters in the lengths of slots, measurements of slot 20×300 mm

Išvados

1. Siurbtuvo forma ir efektyvumas priklauso nuo technologinio proceso ir naudojamų medžiagų savybių.
2. Siurbtuvo rūšies pasirinkimas priklauso nuo oro judėjimo patalpoje ir vonios matmenų.
3. Siurbtuvo efektyvumą lemia siurbimo greitis ir sukuriamas slėgis.

Literatūra

ASHRAE HVAC Applications Handbook (SI). 1999. Atlanta, GA, U. S. A.: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

Elinskii, I. I. 1989. *Ventilation and heating of galvanic shops of machinebuilding plants*. Moscow: Mashinostroyeniye. 150 p.

Elterman, V. M. 1980. *Ventilation of chemical plants*. Moscow: Khimia. 230 p.

Posokhin, V. N. 1984. *Design of local ventilation systems for process equipment with heat and gas release*. Moscow: Mashinostroyeniye. 160 p.

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF SIDE EXHAUSTERS

I. Tetsman, V. Striška

Abstract

The article focuses on the relevant technology of environmental protection which includes an effective collection, disposal and control of aerosol and gases contaminants removed from the evaporating surfaces of electroplating tanks. The task of the paper is to help with finding the new ways of collecting and disposing aerosol pollution and to reduce the quantity of equipment and service costs. The article also discusses pollution formation and sorts and performance of side draft and slot hoods for vapour capture. Besides, the paper deals with the formation of vapour over the tank and the features of benefit that depend on absorber's shape. Exhaust velocity and its dependencies are analyzed.

Keywords: electroplating tank, air contamination, side exhauster.