

Mikromicetai metalø korozijos procesuose atmosferos sąlygomis

**Albinas Lugauskas,
Dalia Pečiulytė**

*Botanikos institutas,
Paliøjø Eþerø g. 49,
LT-08406 Vilnius*

**Rimantas Ramanauskas,
Dalia Buėinskienė,
Algimantas Narkevičius**

*Chemijos institutas,
A. Goštauto g. 9,
LT-01108 Vilnius*

Vidmantas Ulevičius

*Fizikos institutas,
Savanoriø pr. 231,
LT-02300 Vilnius*

Straipsnyje pateikiami mikromicetø aptinkamumo ant keturiø metalø (Al, Cu, Fe ir Zn) pavirðiø ir uþterðtumo poþiūriu gana skirtingomis natūraliomis aplinkos sąlygomis (Vilniaus centras, Utenos rajonas, Nidos Preilos gyvenvietė, prie jūros) duomenys. Pateikiami duomenys rodo, kad natūraliomis aplinkos sąlygomis ant eksponuojamø metaliniø plokðteliø ið oro ir nuo kitø substratø patenka ávairiø rūðiø mikromicetai ir kiti mikroorganizmai. Vienø mikroorganizmø pradai yra nuo pavirðiaus greitai paðalinami, kitø pasilieka, laipsniðkai prisitaiko, pradeda funkcionuoti, iðskirti metabolitus ir veikti metalo pavirðiuje vykstančius korozijos procesus, kuriø eigai didelė átakà turi savitos klimatinio stovėjimo atmosferos sąlygos. Iðaiðkinta, kad tokiomis sąlygomis prie metalo pavirðiaus geba adhezuoti kai kuriø *Penicillium* genties rūðiø (*P. frequentans*, *P. stoloniferum*, *P. expansum*), *Aspergillus* genties (*A. niger*, *A. fumigatus*, *A. repens*), *Cladosporium* genties (*C. cladosporioides*, *C. herbarum*), *Acremonium* genties (*A. nordinii*, *A. charticola*, *A. murorum*), *Exophiala jeanselmei*, *Paecilomyces parvus*, *Verticillium album*, *Arthrinium phaeospermum* ir kai kuriø sporiniø bakterijø pradai. Mikromicetø gyvybingumas ir gausa ant tirtø metaliniø plokðteliø koreliavo su plokðteliø pavirðiaus drėgnumo trukme bei terðalø (NO_2 , O_3 , SO_2 , H_2S ir NaCl) koncentracija atmosferoje ir plokðteles nuplovusiame krituliø vandenyje. Mikromicetø vystymosi ant metalø sekà lėmė metalo pavirðiaus vilgumas ir nusėdusio cheminio terðalø geba kaupti drėgmę ið aplinkos. Pastebėta, kad pagal gebėjimą pasisavinti metalo pavirðiuje esantá kapiliariná ir koheziná vandená mikroorganizmai labai skiriasi, kaip ir pagal jautrumá vandens trūkumui. Iðaiðkinti mikromicetai, gebantys funkcionuoti ant metalo didesnio sulfatinės sieros, nitratinio azoto ir amoniakinio azoto bei chlorido koncentracijø sąlygomis.

Raktaþodþiai: atmosfera, aplinkos sąlygos, mikromicetai, bakterijos, korozija, cheminiai terðalai

ÁVADAS

Atmosfera yra gamtiniø ir sintetiniø polimeriniø medþiagø, dangø, metalø ir jø lydinø paþeidimo ir destrukcijos procesø esminis veiksnys (Te Barke, 1975). Atmosfera jungia ávairiø veiksnio deriná kurá sudaro krituliai, vėjas, aukðtos ir þemos temperatūros, Saulės spinduliuotė ir kiti natūralūs aplinkos veiksniai bei juos papildantys tarðos nuolat veikiami gamtoje vykstantys cheminiai ir biologiniai procesai. Gamtinėje aplinkoje vykstantys procesai glaudþiai siejasi su mikroorganizmø veikla, nors jà susekti ir nustatyti jos átakos laipsnà yra gana sunku. Metalø korozija natūraliomis aplinkos sąlygomis yra taip pat tiesiogiai ar netiesiogiai susijusi su mikroorganizmø funkcionavimu. Taėiau korozijos procesø prieþastingumo tyrimai daþnai siejami su veiksniais, skatinanėiais rūgðėios aplinkos susidarymá metalo pavirðiuje. Tai paskatino praejusiam amþiuje sparėiai didėjanti SO_2 koncentracija

atmosferoje (Goudie, 2000). Negalima atskirai nagrinėti literatūros ðaltiniuose daþniausiai nurodomas metalø korozijos prieþastis, kuriø viena yra atmosferos tarða, kita – mikroorganizmø iðskiriami metabolitai. Gamtinėmis sąlygomis metalo pavirðiai pasidengia skysėio plėvele, o reaguodami su vandeniu chloridai, sieros, azoto ir kiti junginiai metalus veikia destruktiviai. Tai stiprus koroziniø procesø atsiradimo veiksnys. Taėiau bendrąjá korozijos vyksmo foná formuoja ne tik atmosferos dujos, bet ir ant metalo pavirðiaus nusėdusios vėjo perneðamos oro masėse esanėios dulkes, mikroorganizmø pradai, organinės dalelės. Ðis fonas kiekvienoje geografinėje vietovėje yra skirtingas (Kabayashi, 2001). Atmosferos uþterðtumas dideliø miestø teritorijoje nėra naujas reiškinys, taėiau kiekybiðkas jo konstatavimas daþniausiai siejamas su cheminiu ir mechaniniu atmosferos uþterðtumu, nenagrinėjant mikroorganizmø veiksnio átakos ðiems procesams (Te Barke, 1975).

Lietuvoje sistemingi tyrimai, siekiantys nustatyti atskirø regionø atmosferos korozinà agresyvumà metalams, pradėti tik 2001 m., nors atmosferos veiksnio ir mikroorganizmø poveikio koroziniams procesams iðaiðkinimas yra teoriðkai ir praktiðkai svarbus uždavinys. Ðiuo metu viso pasaulio mokslininkai atmosferoje vykstančius metalø korozijos procesus tiria maþiau, nei procesus, vykstančius metalø pavirðiaus ir skyscio sàlyëio riboje (Beech, 2004; Charaolis et al., 1990; Flemming, 1996; Gaylarde, Beech, 2004; Gaylarde, Videla, 1987), nors jau yra pastebëta, kad krituliø kiekiai atvirkðiai koreliuoja su cheminës tarðos koncentracija juose, o jø kiekis ir cheminë sudëtis veikia metalø korozijos greità. Nustatyta, kad drëgno klimato sàlygomis po pastoge eksponuojami metalai labiau koroduoja, nei eksponuojami atviraime plote (Kabayashi, 2001; Roberg, 1999) ir kad ða skirtumà lemia lietaus vandens iðplaunami korozijos produktai. Mokslinø tyrimø rezultatais paremtos informacijos apie ávairø rajonø atmosferos korozinà agresyvumà ávairuose regionuose yra nedaug, nors daþnai dël ávairø metalinø konstrukcijø intensyvios korozijos patiriama milijonais skaiëiuojamø nuostoliø. Metalø korozijos tyrimø laboratorijos sàlygomis rezultatai paaiðkina atmosferos drëgmës ir dujø bendrà átakà korozijos procesø eigai (Barton, 1976; Marcus, Oudar, 2002; Suresh, 1998; Szakalos, 2003). Mokslinø tyrimø, atliktø atmosferos sàlygomis, rezultatai ágalina nustatyti susidariusius ant tiriamø metalø pavirðiaus korozijos produktus ir jø sekà proceso eigoje (Ashcroft, Mermin, 1988; Helsen, Brems, 1998; Ratner et al., 1996). Taëiau iðsamesniø duomenø apie atmosferinè korozijà, metalo ir atmosferos sàlyëio ribose yra nedaug, nes tyrimai yra gana sudëtingi ir reikalauja ávertinti daugelà veiksniø.

Ieðkant bûdø padidinti metalø ir jø lydinø atsparumà atmosferos sàlygomis vykstanèiai korozijai bei bandant prognozuoti jos agresyvumo pokyčius didëjant aplinkos tarðai, keièiantis ozono kiekiui ir Saulës UV spinduliuotës aktyvumui tokie tyrimai būtini, nes iðvardytos prieþastys turi átakà ir besikeièianèios aplinkos sàlygomis funkcionuojantiems mikroorganizmams.

Pastarojo darbo tikslas – iðaiðkinti mikroorganizmus, aptinkamus ant ávairiomis ekologinëmis sàlygomis eksponuojamø aliuminio (Al), vario (Cu), plieno (Fe) ir cinko (Zn) plokðteliø, nustatyti jø aptinkamumo daþnio ir metalø korozijos proceso intensyvumo santykà, iðtirti ant korodujanèiø metalø plokðteliø pavirðiaus aptiktø mikromicetø gebà prisitaikyti ir funkcionuoti ekstremaliomis sàlygomis.

TYRIMO SÀLYGOS, OBJEKTAI IR METODAI

Al, Zn, Fe ir Cu plokðtelës buvo eksponuojamos specialiai skirtingomis ekologinëmis klimato sàlygomis árengtose aikðtelëse: kaimo zonoje – Rûgðteliðkio kaime, Utenos rajone, Lietuvos þemës ūkio uni-

versiteto monitoringo stotyje ir Kulioniø kaime, Molëtø rajone; pajūrio zonoje – Preilos gyvenvietėje, Neringos mieste, Fizikos instituto eksperimentinėje stotyje ant Baltijos jūros kranto; miesto zonoje – Vilniaus centre, A. Goðtauto gatvėje, Chemijos instituto centrinio pastato kieme. Korozijos tyrimø aikðtelës buvo árengtos laikantis ISO 9223, 8565 standartø reikalavimø (1992). Metalinës 10 × 15 cm dydþio ir 1–3 mm storio plokðtelës, pagamintos ið skirtingø metalø (Cu, Zn, Al ir plieno), buvo eksponuotos ant á pietus orientuotø metalinø stendø, iðdësčius jas 45° kampu horizontaliai. Kiekvienoje tyrimo stotyje eksponuota po penkiolika kiekvieno metalo plokðteliø. Plokðtelës prieš eksponuojant buvo nuplautos organiniais tirpikliais.

Mikroorganizmai buvo iðskirti nuo metalinø plokðteliø po 3, 6 ir 9 mëniesø ekspozicijos tyrimo stotyse ir ið surinkto krituliø vandens per ekspozicijos laikà, kontaktavusio su metalinø plokðteliø pavirðiumi. Mikroorganizmai nuo plokðteliø pavirðiaus ant agarizuotø mitybinø terpiø (alaus misos mikromicetams ir mësos peptono agarø bakterijoms) perkelti sterilia metaline kilpele. Mikroorganizmai, esantys krituliø vandenyje, buvo tiriami standartiniais metodais (Mirèink, 1988). Mikromicetø pasëliai auginti termostate 25 ± 2°C, o bakterijø pasëliai – 32 ± 2°C temperatūroje. Mikromicetai buvo iðgryninti iki monokultūrø ir vëliau identifikuoti atsiþvelgiant á jø fiziologinius ir morfologinius poþymius. Identifikuojant vadovautasi ávairiais apibûdintojais (Boerema, Dorenbosch, 1973; Carmichael et al., 1980; Chistensen et al., 1999; Domsch et al., 1980; Ellis, 1971, 1976; Gams, 1971; Hansworth et al., 1995; Jesenka, Pieckova, 1995; Lugauskas ir kt., 1997, 1987, 2002; Milko, 1974; Nelson et al., 1993; Pitt, 1979; Ramirez, 1988; Raper et al., 1965; Raper, Thom, 1949).

Atmosferinës korozijos tyrimø metu metalø pavirðiaus drëkinimo laikas (τ_r) buvo nustatomas naudojant specialius drëgnomaëius (Leydraf, 1995), arba apskaiëiuojamas remiantis santykinës oro drëgmës matavimo rezultatais. Abu ðie τ_r nustatymo metodai turi trūkumø, todël norint jø iðvengti ðio korozijos procesø tyrimo metu buvo panaudoti Chemijos institute sukuri drëgmës matavimo prietaisai, kuriø laidininkai buvo tie patys klimato stotyse eksponuojami metalai. Prieð pradedant metalines plokðteles eksponuoti tyrimø stotyse ðie prietaisai buvo sukalibruoti 100% drëgno ir sauso oro sàlygomis.

Kiekvienà savaitæ atmosferos oro ir krituliø ëminiai buvo paimti tyrimø vietovëse. Paimtuose oro mëginiuose nustatytos sieros dioksido (dujos), sulfatø, nitratø, amonio (aerolinës dalelës) koncentracijos. Terðalø koncentravimui ið oro naudoti celiulioziniai WHATMAN 40 filtrai. Prieð naudojant sieros dioksido koncentravimui ið atmosferos filtrai cheminėje laboratorijoje ðvaraus oro kameroje buvo impregnuoti ðarmu.

1 lentelė. Utenos klimatinės stoties oro ėminiuose, paimtuose 24 ir 1 m atstumu nuo žemės paviršiaus, išskirtø vyraujanèiø mikromicetø rūðiø palyginimas

Table 1. Comparison of the prevalent fungal species isolated from the air at a distance of 24 m and 1 m from the ground in the climat station of Utena

Ėminio vieta	Iðskirtø mikromicetø rūðiø skaièius	Iðskirtø mikromicetø rūðiø kompleksø panaðumo koeficientas	Iðskirtø rūðiø mikromicetai, kuriø daþnis $\geq 10\%$
Oro ėminiai 24 m atstumu nuo dirvoþemio pavirðiaus	23	0,313	<i>Acremonium roseum</i> Peteh, <i>A. chartarum</i> (Lindau) W. Gams, <i>A. strictum</i> W. Gams, <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl., <i>A. solani</i> Sorauer, <i>Arthrimum phaeospermum</i> (Corda) M.B. Ellis, <i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen., <i>A. niger</i> Tiegh., <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud, <i>Chaetomium</i> spp., <i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.), E.W. Mason et M.B. Ellis, <i>C. herbarum</i> (Pers.) Link ex Gray, <i>Exophiala jeanselmei</i> (Langeron) McGinnis et A.A. Padhye, <i>Fusarium oxysporum</i> Schltdl, <i>Mortierella humicola</i> Oudem., <i>Paecilomyces parvus</i> Brown et Smith, <i>P. lilacinus</i> (Thom) Samson, <i>Penicillium expansum</i> Link, <i>P. spinulosum</i> Thom, <i>Scytalidium lignicola</i> Pesante, <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary, <i>Mycelia sterilia</i>
Oro ėminiai 1 m atstumu nuo dirvoþemio pavirðiaus	25	0,415	<i>Alternaria alternata</i> , <i>A. tenuissima</i> (Kunze ex Pers.) Wiltshire, <i>Arthrimum phaeospermum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. ustus</i> (Bainier) Thom et Church, <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Botrytis cinerea</i> Pers. et Fr., <i>Chaetomium</i> spp. <i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link ex Gray, <i>Exophiala jeanselmei</i> , <i>Fusarium culmorum</i> (Wm. G. Sm.) Sacc., <i>F. oxysporum</i> , <i>F. solani</i> (Mart.) Appel et Wollenw., <i>Oidiodendron tenuissimum</i> (Peck) S. Hughes, <i>Paecilomyces parvus</i> , <i>P. lilacinus</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>P. janthinellum</i> Biourge, <i>P. nigricans</i> (Bainier) Thom, <i>P. palitans</i> Westling, <i>Phoma glomerata</i> (Corda) Wollenw. et Hochapfel, <i>Sporotrichum aurantiacum</i> (Bull. es Fr.) Fr., <i>Trichoderma polysporum</i> (Link ex Pers.) Rifai, <i>Verticillium album</i> (Preuss) Pidopl., <i>Mycelia sterilia</i>
Metaliniø plokðteliø pavirðiaus	28	0,800	<i>Acremonium roseum</i> , <i>A. chartarum</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>A. tenuissima</i> , <i>Arthrimum phaeospermum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Chaetomium</i> spp., <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Exophiala jeanselmei</i> (Langeron) McGinnis et A. Padhye, <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Fusarium</i> spp., <i>Mortierella</i> spp., <i>Oidiodendron tenuissimum</i> , <i>Paecilomyces parvus</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>P. janthinellum</i> , <i>P. nigricans</i> , <i>P. palitans</i> , <i>Phoma destructiva</i> (Plowr.) Jamieson, <i>Ph. glomerata</i> , <i>Scytalidium lignicola</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Sporotrichum aurantiacum</i> , <i>Trichoderma polysporum</i> , <i>Verticillium album</i> , <i>Mycelia sterilia</i>

Sieros dioksido, sulfatø ir nitratø koncentracijos vandeniniuose eliuatuose tirtos chromatografu DIONEX 2010I taikant jonø mainø reakcijø metodà. Amonio jonø koncentracija nustatyta indofenoliniu metodu nenutrùkstamo srauto analizatoriumi CONTIFLO.

Anijonø (sulfatø, nitratø ir chloridø) koncentracijoms krituliø vandenyje matuoti naudotas jonø mainø chromatografas DIONEX 2010I (kolonëlës AG4A-SC ir AS4A-SC).

Atmosferos krituliø bandiniai rinkti ir pagrindiø cheminiø terðalø koncentracijos juose tirtos pagal EMEP bei WMO/GAW rekomendacijas (EMEP..., 2001; WMO...). Metalinës plokðtelës po eksponavimo atmosferos sàlygomis buvo tirtos optinës ir elektroninës mikroskopijos metodais, ágalinanëiais fiksuoti plokðteliø uþterðtumà mikroorganizmais, jø tiesioginá sàlytà su metalais ir ant jø atsirandanëiais korozijos produktais.

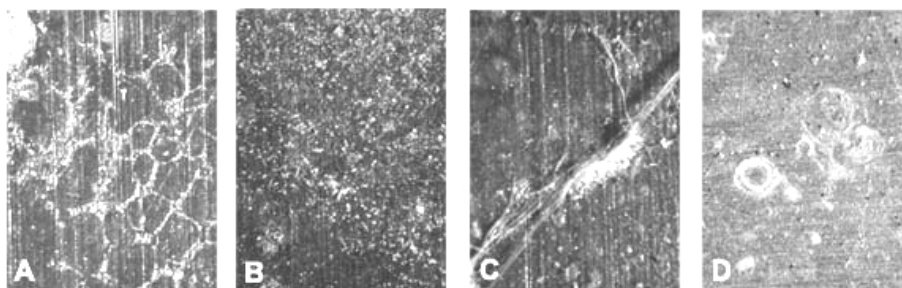
TYRIMØ REZULTATAI

Duomenys apie atmosferos koroziná agresyvumà grindþiami keturiø plaëiai technikoje naudojamø metalø – aliuminio, plieno, vario ir cinko – korozijos nuostoliø, patirtø 9 mëneseius eksponuojant plokðteles keturiø skirtingø klimatinio stoeiø sàlygomis, ávertinimu. Daugiausia dëmesio skirta metaliniø plokðteliø pavirðiaus ir su metalu kontaktavusio krituliø mikrobiologiniam uþterðtumui nagrinëti, siejant tai su metaliniø plokðteliø vilgumo intensyvumu, krituliø kiekiu ir cheminiø analiëiø juose koncentracijomis.

Metaliniø plokðteliø, eksponuojamø skirtingomis keturiø klimatinio aikðteliø sàlygomis, mikologiniai tyrimai ir gamtinës aplinkos oro bioaerzoliø mikologinis ávertinimas (1 lentelë) parodë, kad mikroorganizmai ant metaliniø plokðteliø pavirðiaus patenka ið atmosferos drauge su dulkëmis, þiedadulkëmis, cheminiais terðalais, kurie daugeliu atvejø yra substratas mikromicetø ir bakterijø gyvybingumui palaikyti ant metaliniø plokðteliø pavirðiaus susidariusiomis ekstremaliomis sàlygomis. Tai rodo 1 lentelëje pateikti duomenys. Iðanalizavus gautus tyrimo duomenis paaiðkëjo, kad dauguma ant metaliniø plokðteliø aptiktø rûðiø mikromicetø buvo iðskiriama ir ið aplinkos oro, ir ið kitø substratø. Tai ypaè ryðkiaiai galima matyti ið 1 lentelëje pateiktø Utenos klimatinëje stotyje atliktø tyrimø duomenø. Apie 80% nuo metaliniø plokðteliø iðskirtø mikromicetø buvo aptikti ir 24 m, ir 1 m at-

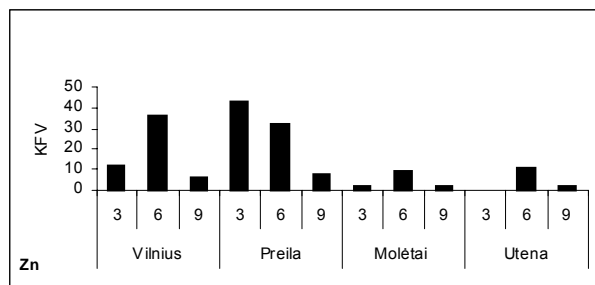
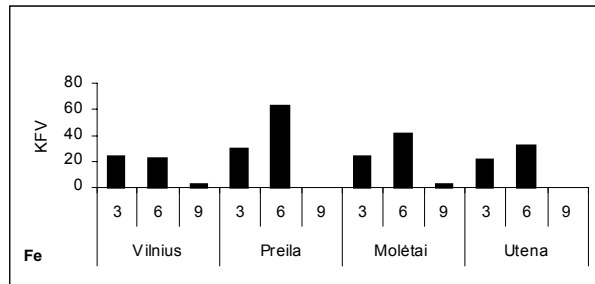
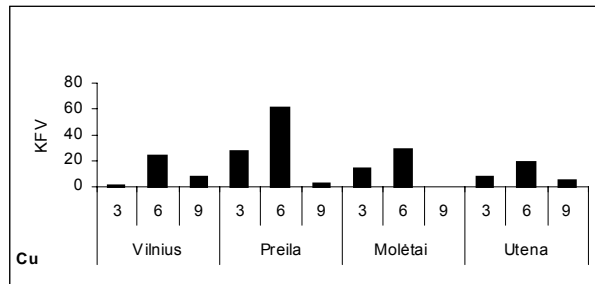
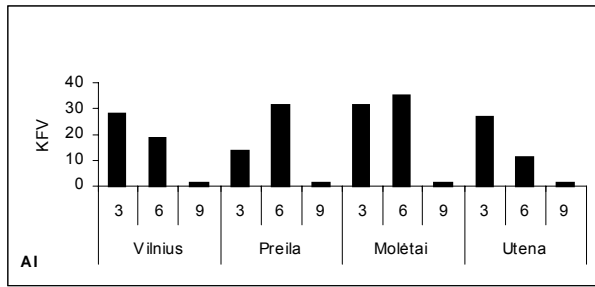
stumu nuo dirvoþemio pavirðiaus paimtuose oro ëminiuose. Mikromicetai, daþniau aptinkami ant metaliniø plokðteliø, eksponuojamø ðioje stotyje, priklausë tø rûðiø mikromicetams, kurie buvo aptinkami ore 1 m aukðtyje nuo dirvoþemio pavirðiaus – panaðumo koeficientas 0,415, taëiau daugelio rûðiø mikromicetø, aptikti ant metaliniø plokðteliø, buvo izoliuoti ið oro bandiniø, paimtø 24 m aukðtyje. Aðtuonioms rûðims priklausantys mikromicetai ið 35 daþnai aptiktø ðio tyrimo metu mikromicetø rûðiø (*Alternaria alternata*, *Arthrimum phaeospermum*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium herbarum*, *Exophiala jeanselmei*, *Fusarium oxysporum*, *Paecilomyces parvus* ir *Penicillium expansum*) buvo iðskirti ið visø tirtø oro bandiniø ir aptikti ant eksponuotø metaliniø plokðteliø. Ðio mikromicetø rûðiø padermës daþnos ore ir ant substratø natûraliomis sàlygomis ir yra aktyvûs destruktoriai. Jau po pirmo metaliniø plokðteliø ekspozicijos atmosferos sàlygomis mëneseio ant pavirðiaus visø klimatinio zonø sàlygomis buvo aptinkama ávairiø rûðiø bakterijø ir mikromicetø. Ðenklius mikroorganizmø poveikis metalø korozijos procesams buvo pastebimas visus 9 mëneseius.

Tiesioginá mikromicetø dalyvavimà korozijos procesuose ant tiriamø metaliniø plokðteliø galima stebëti optinës arba elektroninës mikroskopijos metodais. Jø panaudojimas ðiame tyrime ágalino stebëti ir fiksuoti susiformavusias mikromicetø kolonijas ir dauginimosi struktûras. Kartu ávertintas korozijos produktø ir struktûrø – kristalø ar amorfiniø darinio – susidarymas. Po 6 mëneseiø metalø ekspozicijos korozijos tyrimo stotyje Vilniaus centre aliuminio plokðtelës pavirðius (1 pav., A) padengtas micelio tinklu, kurio mikrofragmentus perkëlus ant mitybinio terpio vystosi mikromicetø kolonijos. Vario plokðtelës pavirðiuje susiformavo þalias apnaðas, kurà sudaro hidrosulfatai, hidrokarbonatai ar chloridai (1 pav., B). Stipriai pasikeitë plieniniø plokðteliø pavirðiaus struktûra – ant jo gausu geleþies oksidø ir kitø korozijos produktø, pastebëtas mikromicetø vystymasis korozijos produktø sluoksnyje (1 pav., C). Ðenkliu pasikeitë



1 pav. Metaliniø plokðteliø pavirðiaus pokyëiai po 6 mëneseiø ekspozicijos natûraliomis atmosferos sàlygomis metalø korozijos tyrimø klimatinëje stotyje miesto zonoje (Vilniaus centre). A – Al, B – Cu, C – Fe ir D – Zn plokðtelës

Fig. 1. Changes of metal coupon surface after 6 months of exposure to atmospheric conditions in a city site (center of Vilnius). A – Al, B – Cu, C – Fe, and D – Zn coupons

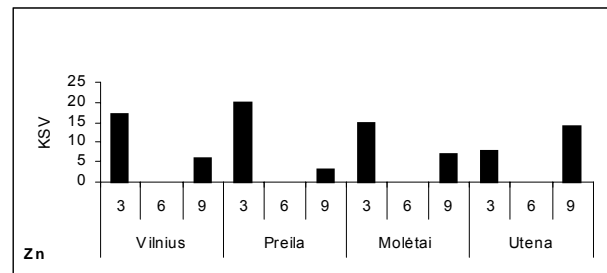
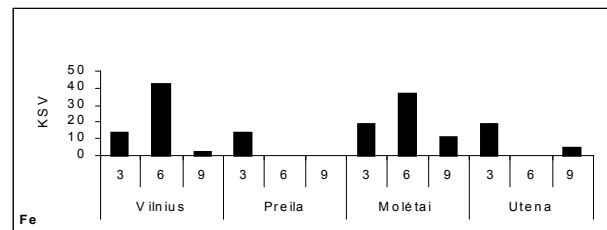
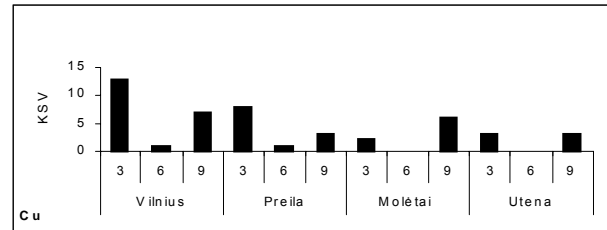
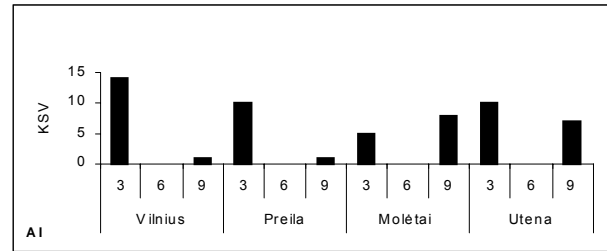


2 pav. Bakterijų gyvybingø lãstelø koncentracija (KSV – kolonijas sudarantys vienetai) 1 cm² metalø pavirðiuje po 3, 6 ir 9 mëneseø ekspozicijos korozijos tyrimø klimatinëse stotyse

Fig. 2. Concentration of viable bacteria (CFU – colony forming units) per 1 cm² surface of the metal coupons after 3, 6 and 9 months of exposure in the climatic sites of metal corrosion

koroduoto plieno pavirðiaus vaizdas. Tuo metu cinko pavirðio dengë vietomis sutankëjæs mikromicetø micelis, buvo matyti pavienës maþos kolonijos ir po jomis korozijos þidiniai (1 pav., D).

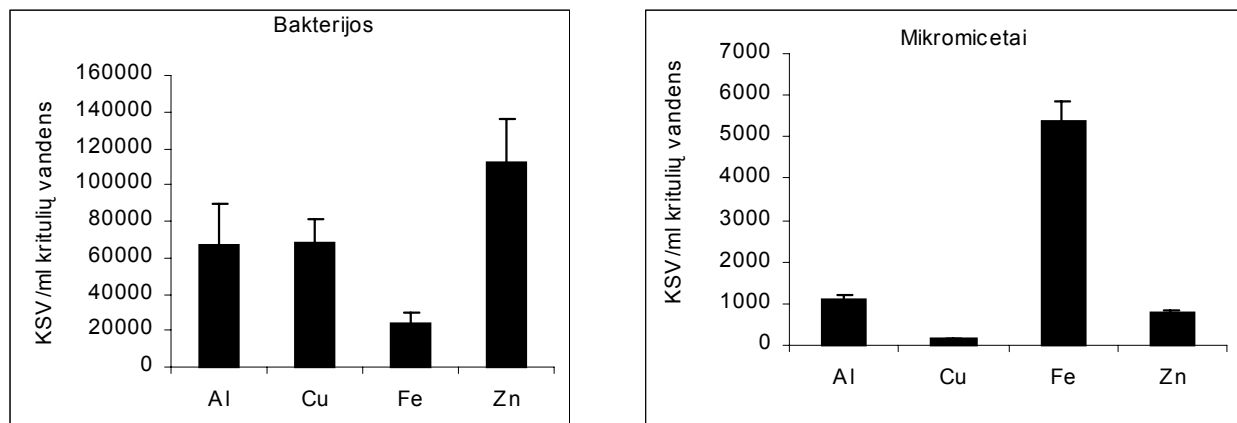
Po pirmø ekspozicijos mëneseø gyvybingi mikroorganizmø pradai randami ir uþfiksuojami tik korozijos produktø nuogrاندose, tuo tarpu po 3 ir 6 mën. ekspozicijos ant metaliniø plokðteliø pavirðiaus mikroskopijos metoduais uþfiksuota mikromicetø mi-



3 pav. Mikromicetø gyvybingø pradø koncentracija (KSV – kolonijas sudarantys vienetai) 1 cm² metalø pavirðiuje po 3, 6 ir 9 mëneseø ekspozicijos metalø korozijos tyrimø klimatinëse stotyse

Fig. 3. Concentration of viable microfungi (CFU – colony forming units) per 1 cm² surface of the metal coupons after 3, 6 and 9 months of exposure in the climatic sites of metal corrosion

celis su susiformavusiomis struktûromis, kuriø morfologiniai poþymiai buvo ryðkûs. Daþnai ant varinës plokðtelës pavirðiaus matyti biomasës sankaupos. Tuo galima paaiðkinti ne tik mikroorganizmø dalyvavimą korozijos procesuose, bet ir metaliniø plokðteliø korozijos zonoje vykstanëias mikroorganizmø sukcesijas. Apie tai, kad mikroorganizmai ant plokðteliø pavirðiaus vystosi tam tikra biologine seka, galima sprãsti ir pagal jø gyvybingumo skirtumus perkëlus juos nuo metaliniø plokðteliø pavirðiaus ant agarizuotø mitybiniø terpiø (2 ir 3 pav.). Vienø mikroorganizmø pradai yra gyvybingi ir vyrauja ant mitybiniø terpiø besivystanëiose populiacijose, kiti – arba yra negyvybingi, arba praradæ gebëjimà konkuruoti ðioje populiacijoje dėl mitybai ir energijai reikalingo substrato. Antriesiems mikroorganizmams skirtina itin daug dëmesio, nes lëtesnis jø augimas ant mi-



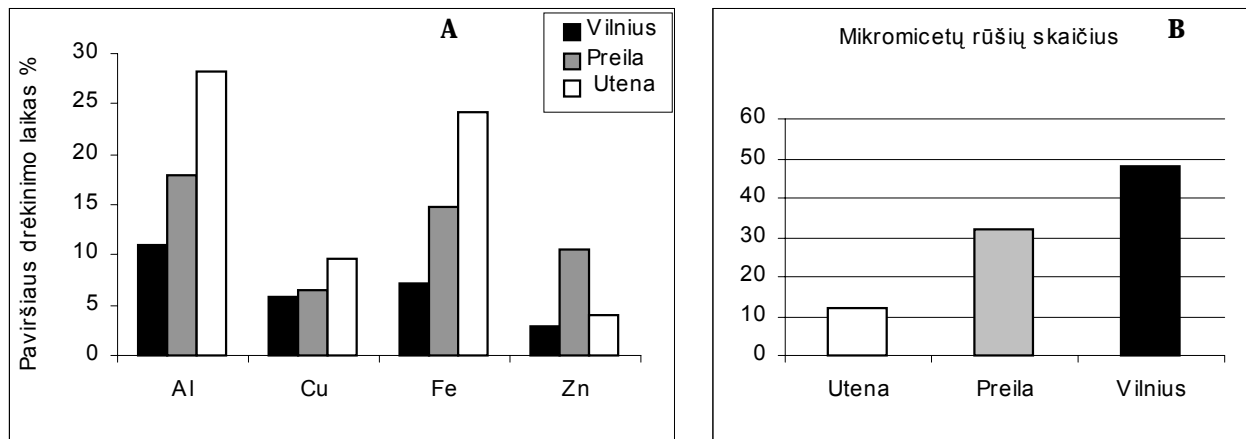
4 pav. Mikromicetø ir bakterijø koncentracijos vidurkis trijø korozijos tyrimø klimatinio stoèio (Vilniaus, Preilos ir Molëtø) krituliuose, turėjusiuose sąlytą su 6 mėnesius eksponuotø metalø pavirðiais. Rezultatai – koncentracijø, nustatytø trijose metalø korozijos tyrimo klimatinio stotyse, vidurkis

Fig. 4. Concentrations of micromycetes and bacteria in the precipitates which have been in contact with the metal coupons for 6 months exposed to atmospheric conditions. Mean of the concentrations determined in three sites of corrosion investigation (Vilnius, Preila and Molëtai)

tybiniø terpiø nėra vien jø maþesnio gyvybingumo rezultatas. Kaip tik būtent ðie, lëtai ant standartiniø mitybiniø terpiø augantys, mikroorganizmai gali būti tikrieji korozijos procesø iniciatoriai, o jø biologiniø savybiø pasikeitimas prisitaikant ekstremaliomis (ant metaliniø plokðteliø) sąlygomis paaiðkina poreiká cheminiams junginiams, kurie buvo elektrolite ar korozijos produktuose. Ant tiriamø metaliniø plokðteliø pavirðiaus gyvybingø bakterijø koncentracija skiriasi ir priklauso nuo: a) metalo savybiø, b) korozijos procesø tyrimo vietovës ir c) metaliniø plokðteliø eksponavimo atmosferos sąlygomis trukmës (2 pav.). Ant tiriamø mitybiniø terpiø gyvybingø bakterijø koncentracija po 9 mėn. ekspozicijos þenkliai sumaðėjo vertinant visus metalus ir visose korozijos tyrimo stotyse, iðskyrus vario plokðteles (Vilniaus stotis) ir cinko plokðteles (Utenos stotis). Nuo pastarøjø maþiausiai gyvybingø bakterijø iðskirta po 3 mėn. ekspozicijos. Nepaisant to, kad gyvybingø bakterijø skaièius po 9 mėn. ekspozicijos sumaðėjo, jø kiekis ant Al ir Zn plokðteliø po 9 mėn. ekspozicijos buvo didesnis nei ant Fe ir Cu plokðteliø, iðskyrus Preilos tyrimø stotá. Ðioje tyrimø stotyje jau po pirmøjø 3, o vëliau po 6 mėn. ekspozicijos Cu plokðtelës buvo gausiau kontaminuotos bakterijomis nei kiti metalai. Pastebëta visai kita metaliniø plokðteliø uþterðtumo mikromicetø pradais eiga. Palyginus 2 ir 3 paveiksluose pateiktus rezultatus, galima pastebëti ðiø dviejø mikroorganizmø grupiø – bakterijø ir mikromicetø korozijos sluoksnyje, susidariusiame ant metaliniø plokðteliø pavirðiaus, atvirkðtiná priklausomybá. Ten, kur gausu bakterijø, maþiau yra gyvybingø mikromicetø pradø ir, atvirkðèiai, didesnes bakterijø koncentracijas lydi maþesni mikromicetø pradø kiekiai. Ant metaliniø plokðteliø gyvybingø bakterijø koncentracija sumaðėjo po 9 mėn. ekspozicijos, tuo tarpu mikromicetø po 6 mėn. ekspozicijos aptikta maþiausiai. Po 9 mėn. ant metaliniø plokðteliø pavir-

ðiaus mikromicetø koncentracija vël padidėjo, iðskyrus Fe plokðteles, eksponuotas Preilos tyrimo stotyje (3 pav.).

Daþniau mikrokolonijos ir gyvybingos bei suirusios mikroorganizmø biomasës sankaupos buvo stebimos korozijos þidiniuose. Tai patvirtina elektrocheminiø ir ásitraukusio á korozijos procesà mikroorganizmø fiziologiniø reakcijø suderinamumà korozijos þidiniuose. Tai, kad mikromicetø sterilus ir sporuliuojantis micelis iðlieka nenuplautas krituliø srauto ilgesnës ekspozicijos atmosferos sąlygomis metu, rodo jø biomasës stiprø ryðá su koroduojanèiu metalø pavirðiumi bei susidariusiais korozijos produktais. Tie mikroorganizmø pradai, kurie nesugeba adhezuoti ant kietø pavirðiø, ðiuo atveju ant metaliniø plokðteliø, neáitvirtina susidariusiame korozijos sluoksnyje, vëliau yra lengvai krituliø vandens nuplaunami. Á krituliø vandená, kuris lieèiasi su metalinimis plokðtelėmis, eksponavimo metu ne tik patenka neprisitvirtinæ mikroorganizmø pradai, bet ir nuplaunami funkcionuojanèiø mikroorganizmø fragmentai: sporos, konidijos, chlamidosporos, micelis, kitos mikrostruktūros. Tyrimø metu nustatyta, kad, nepriklausomai nuo tyrimo vietovës ir atmosferos sąlygø vienodumo konkreèioje korozijos tyrimo klimatinio stotyje, su eksponuojamomis metalinimis plokðtelėmis susilietusiame krituliø vandenyje gyvybingø mikroorganizmø pradø koncentracija priklauso nuo eksponuojamo metalo rūðies (4 pav.). Didþiausias mikromicetø pradø koncentracijos (nuo 456 iki 589 KSV/ml) nustatytos geleþies, o maþiausias (nuo 12 iki 23 KSV/ml) – vario pavirðiø lietusiam krituliø vandenyje. Aliuminio ir vario plokðteles lietusiam krituliø vandenyje mikroorganizmø gyvybingø pradø koncentracijos statistiðkai nesiskiria, taèiau yra patikimai maþesnës nei jø koncentracijos Zn plokðteles lietusiam krituliø vandenyje.



5 pav. A – metalø paviršiaus vilgumo laikas τ_e (% nuo bendro ekspozicijos laiko) miesto (Vilnius), kaimo (Utena) ir jūrinėje (Preila) korozijos tyrimø klimatinėse stotyse. Pavyzdžiø eksponavimo laikas – pirmi 6 eksponavimo mėnesiai. B – nuo metaliniø plokðteliø, eksponuojamø tose paėiose korozijos tyrimø klimatinėse stotyse, išskirtø mikromicetø rūðiø skaičius

Fig. 5. A – wettability time τ_e (% from the total exposure time) of metal coupons exposed in the city (Vilnius), country (Utena) and marine (Preila) sites of climatic investigations. Exposure time 6 months. B – number of microcete species isolated from metal samples exposed in different climatic sites

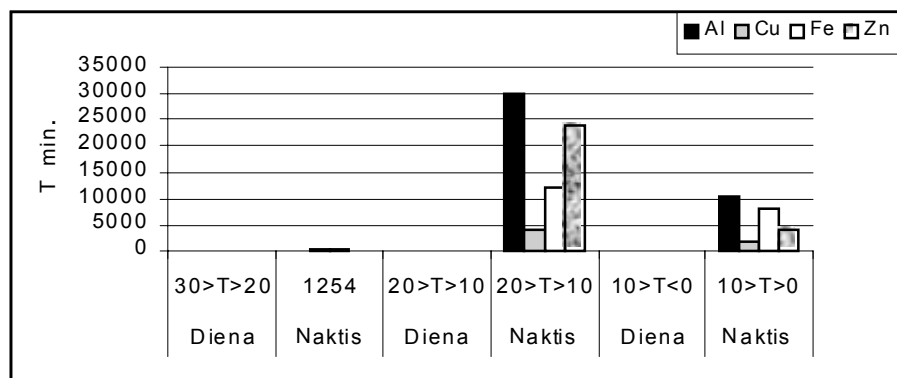
Vienas pagrindiniø pastarojo tiriamojo darbo tikslø buvo išaiðkinti aplinkos sąlygø, ypaè krituliø ir juose esanėiø cheminiø junginiø, oro drėgmės ir metaliniø plokðteliø paviršiaus drėgnumo átakà mikromicetø prisitaikymui, vystymuisi ir vyravimui ant natūraliomis ekologinėmis sąlygomis koroduojanėiø metalø paviršiaus. Nustatyta ávairiø rūðiø mikromicetø procentinis pasiskirstymas ant skirtingomis ekspozicijos sąlygomis laikytø metaliniø plokðteliø paviršiaus atsipvelgiant ir á jø skirtingas charakteristikas toje paėioje korozijos tyrimø klimatinėje stotyje. Palygintas mikromicetø pasiskirstymas su fizikiniais metaliniø plokðteliø pokyčiais. Nustatytas krituliø kiekis ir vandens, kuris lietėsi su metalinėmis plokðtelėmis, cheminė sudėtis. Palyginti krituliø kiekio ir plokðteliø vilgumo tyrimø rezultatai. Metaliniø plokðteliø paviršiaus vilgumo ir mikromicetø aptinkamumo ant metalø ryðá rodo 6 mėnesiø trukmės tyrimø rezultatai. Vanduo yra svarbiausias visø gyvø organizmø funkcionavimo veiksnys. Mikroorganizmai gamtoje susiduria su ávairiø formø vandeniø: kristaliniu, kapiliariniu, adsorbuotu, garais. Nuo vandens kiekio ir jo formø priklauso mikroorganizmø adaptacinės galimybės konkreėioje aplinkoje. Ant metaliniø plokðteliø, eksponuojamø atmosferos sąlygomis, korozijos sluoksnyje aptinkamas kapiliarinis arba kohezinis vanduo, kuris yra laisvas ir úppildo pavirðiuje esanėias poras, todėl gali būti lengvai mikroorganizmø pasisavinamas. Todėl drėgmės sanauka ant tiriamø metaliniø plokðteliø jø ekspozicijos metu yra pagrindinis veiksnys, turintis átakos mikroorganizmø pradø gyvybingumui. Nuo drėgmės kiekio aplinkoje priklauso ir metalø cheminės korozijos intensyvumas.

Metalø atmosferinės korozijos proceso prigimtis yra elektrocheminė. Ðis procesas vyksta tik tuo me-

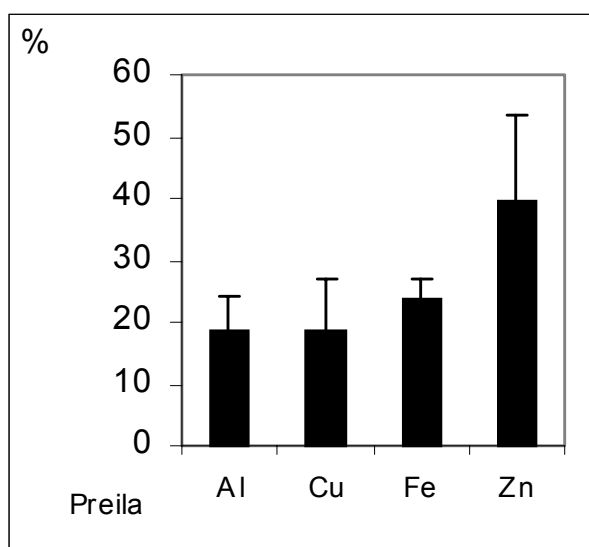
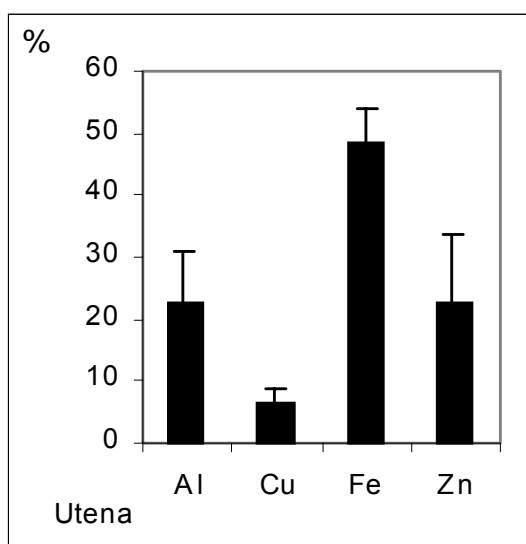
tu, kai metalo pavirðiø drėkina elektrolitas. Pavirðiaus drėkinimo laikas τ_e atliktø atmosferinės korozijos tyrimø metu nustatytas eksperimentiðkai, naudojant specialius drėgmėmaėius. Chloridai ir kiti junginiai aeroliø pavidalu yra išneðami iš jūros. Tai nustatyta Preilos korozijos tyrimø klimatinėje stotyje. Todėl elektrocheminiø procesø eigà eia skatina jūros druskos, kurios absorbuoja drėgmæ iš oro. Visa tai sudaro palankias sąlygas kai kuriø mikromicetø adaptacijai ir vystymuisi ant metalø pavirðiø.

Metalø pavirðiaus τ_e priklauso nuo daugelio veiksniø, iš kuriø svarbiausiais laikytini metalo prigimtis, korozijos produktø sudėtis ir kiekis, atmosfera tarða, plokðtelės pavirðiaus matmenys. Atliktø tyrimø metu nustatytos metaliniø plokðteliø pavirðiaus drėgnumo reikėmės τ_e skirtingiems metalams miesto, kaimo ir jūrinėje stotyse parodytos 5 paveiksle (A). Pirmiausia iš pateiktø duomenø matyti, kad toje paėioje klimatinėje stotyje skirtingø metalø τ_e vertės skiriasi, taėiau pastebimi kai kurie bendri dėsningumai. Visose metaliniø plokðteliø ekspozicijos stotyse didþiausias τ_e vertės būdingos Al, o maþiausias Zn, išskyrus Preilá, kurioje Cu plokðteliø pavirðius buvo drėkinamas trumpiausiai. Nustatyti skirtumai tarp didþiausiø ir maþiausiø τ_e verėiø priklauso nuo stoties lokalizacijos vietos, pavyzdþiui, Vilniaus centro sąlygomis Al τ_e siekia beveik 11% nuo bendro ekspozicijos laiko, tuo tarpu Zn – 4,2%, o Utenos rajone Ðis skirtumas buvo didesnis beveik 9 kartus: τ_e Al – 33,3%, o Zn – 3,7%, ir nuo Al τ_e verėiø maþai kuo skyrėsi plieno τ_e vertės.

Maþiausias visø keturiø rūðiø tirtø metaliniø plokðteliø drėgnumo laikas nustatytas Vilniaus centre, o didþiausias – Utenos korozijos klimatinėje stotyje ekspozicijos metalinėms plokðtelėms. Galima tikėtis, kad mikroorganizmø gausa turėtø at-



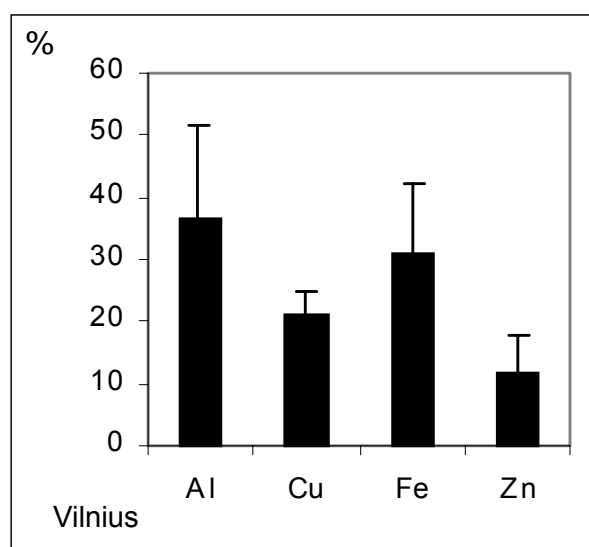
6 pav. Metalø paviršiaus vilgumo laiko τ_e Utenos korozijos tyrimø stotyje priklausomybė nuo aplinkos temperatūrø ir paros laiko pirmuosius 6 eksponavimo mėnesius
Fig. 6. Distribution of the wettability time τ_e (% from the total exposure time) of metal coupons exposed at different intervals of temperature and daytime for 6 months in the corrosion investigation site of Utena



spindėti drėgmės sąlygas, esančias ant metalinių plokštelių paviršiaus. Tačiau mikromicetø ávairovės tyrimo rezultatai (5 pav. B) parodė atvirkštinę priklausomybę – mažiausią metalø paviršiaus drėgnumo laikà (Vilniaus centras) atitinka didžiausias išskirtø mikromicetø rüðiø skaičius, o didžiausią paviršiaus drėgnumą atitinka mažiausias rüðiø skaičius. Ne mažiausius svarbus veiksnys èia yra ir krituliø gausa, kuri, kaip parodyta 8 paveiksle, Preilos ir Utenos metalø korozijos tyrimø vietose buvo gerokai didesnė nei Vilniaus centre. Didesni krituliø kiekiai ne tik lemia didesnà metalinių plokštelių paviršiaus drėgnumą, bet ir didina mikroorganizmø pradø iðplovimà ið korozijos sluoksniu.

Temperatūros pokyčiai taip pat turėjo átakos paviršiaus drėgnumui. Visø klimatinio stoties sąlygomis tiriamø metalø paviršiuose drėgmės plėvelės formavosi esant 10 ir 20°C aplinkos temperatūrai. Preiloje áiam temperatūrø intervalui tenkanti τ_e dalis siekė 84–88%, Vilniaus centre – 80–90%, o kaimo vietovėje Utenos rajone aliuminio ir plieno plokštelėms – 71%, kitiems dviems metalams (Cu ir Zn) – kiek daugiau nei 80%. Utenoje ir Preiloje antras pagal svarbà buvo 0–10°C, o Vilniuje – 10–20°C temperatūrø intervalas.

Drėgmės matavimo árengimais buvo galima fiksuoti ir paros laikà: kada metalo paviršius buvo drė-



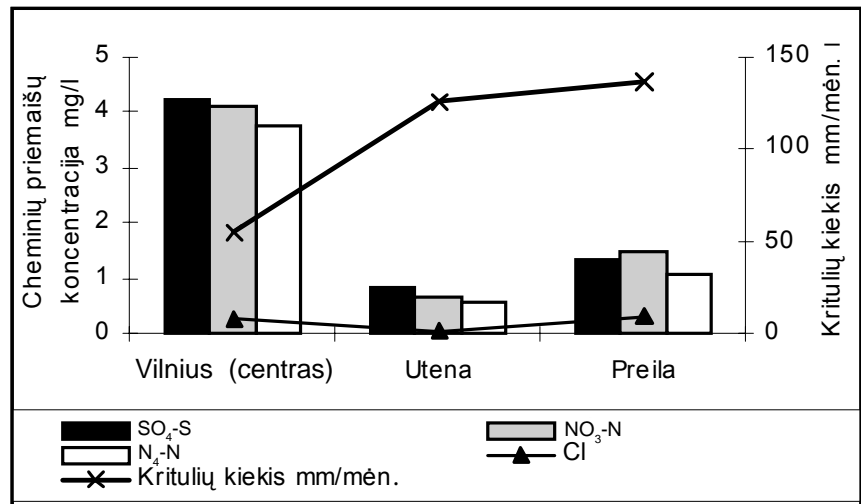
7 pav. Mikromicetø pasiskirstymas (%) ant skirtingø metalinių plokštelių per 6 eksponavimo mėnesius korozijos tyrimø klimatinėse stotyse

Fig. 7. Percentage distribution of micromycete propagules on different metal surfaces over a 6-month exposure in different sites of corrosion investigation

kinamas. 6 paveiksle pavaizduota, kaip skirtingu paros laiku buvo drėkinami metalo paviršiai esant nevienodiems temperatūrų intervalams. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad metalo paviršiai buvo drėkinami daugiausia naktį.

Temperatūrų intervalų ir apdviavimo šaka elektrolito plėvelės susidarymui metalo paviršiuose tirta siekiant nustatyti mikroorganizmų poveiką korozijos procesų eigai. Kaip minėta, mikroorganizmai ant metalinių plokštelių, eksponuojamų atmosferos sąlygomis, patenka iš oro. Mikromicetų plitimas oru su dulkelėmis ir kitais teršalais yra gerai žinoma mikromicetų savybė, ypač būdinga patogeniniams mikromicetams. Jų sporų ar konidijų atskirymą nuo konidijakoelės ar kitų dauginimosi struktūrų lemia paros laikas, drėgmės ir temperatūros sąlygos. Todėl natūralu, kad tokie drėgnumo, temperatūros pokyčiai bei dienos ir nakties kaita turi šakos mikroorganizmų koncentracijai ore, jį nusėdimui ant tiriamų metalinių plokštelių paviršiaus ir tolesnei jį vystymosi eigai. Paviršiaus drėgnumo padidėjimas nakties laiku vasarą sudaro geras sąlygas pradiniam mikroorganizmų ir metalo paviršiaus sąlyčiui: adhezijai, micelio formavimuisi, ląstelių dalijimuisi. Todėl mikroorganizmų paplitimas ore priklauso nuo vietovės ekologinių savitumų ir nuo sezono bei paros laiko. Paros laikas ir temperatūra turi šakos drėgmės išsilikymui ant plokštelių paviršiaus, lemia mikroorganizmų gausą atmosferoje, nusėdusio mikroorganizmų pradę adheziją prie metalo paviršiaus bei tolesnę vystymąsi. Tuo gali būti grindžiami kai kurių mikroorganizmų vyravimo korozijos procesuose dėsningumai.

Mikromicetų gyvybingų pradę pasiskirstymas ant skirtingų metalinių plokštelių korozijos tyrimo klimatinėse stotyse parodytas 7 paveiksle. Visose trijose korozijos tyrimo klimatinėse stotyse mažiausiai mikromicetų aptikta ant vario plokštelių. Šiomis eksponavimo sąlygomis Cu plokštelės patyrė ir mažiausius masės nuostolius. Didžiausi masės pakitimai eksponuojant metalines plokšteles minėtomis tyrimo sąlygomis buvo būdingi plieno plokštelėms. Kaip rodo pateikiami tyrimo rezultatai (7 pav.), Utenos ir Preilos klimatinėse stotyse didžiausias mikromicetų kiekis, atitinkamai 44,5 ir 35,8%, išskirtas būtent nuo Fe plokštelių. Preilos klimatinėje stotyje Fe plokštelės irgi priskirtinos gausiai mikromicetų pradais kontaminuotiems paviršiams. Pagal paviršiaus vilgumą (5 pav. (A)) plieno ir aliuminio plokštelės yra panašios. Jų vilgumo trukmės tyrimo klimatinėse stotyse procentinė išraiška yra beveik tolygi. 5 paveiksle re-



8 pav. Vidutinės kritulių kiekio (mm/mėn.) ir pagrindinių cheminių priemaišų koncentracijos atmosferos krituliuose

Fig. 8. Mean quantity of precipitations (mm/month) and the concentrations (mg/l) of main chemical constituents in them

zultatai parodo bendrą skirtingomis aplinkos sąlygomis eksponuotų metalo paviršiaus kontaminaciją mikromicetų pradais, tuo tarpu mikromicetų procentinis pasiskirstymas ant kiekvieno metalo atskirai išryškina metalo paviršiaus drėgnumo ir mikromicetų paplitimo koroziniame sluoksnyje tiesioginį ryšį.

Teršalų koncentracijas krituliuose lemia jų kiekiai atmosferoje, kritulių kiekis bei jų pobūdis, taip pat atmosferoje vykstantys fizikiniai procesai ir cheminės reakcijos, keičiančios teršalų fizines ir chemines savybes. Tirtose vietose kritulių cheminė sudėtis apibūdina 8 pav. pateikiamos vidutinės tūrinės pagrindinių cheminių analizių koncentracijos 2003 tyrimo metais. Atmosferos krituliai tyrimo vietose pagal ekvivalentinę pagrindinių cheminių analizių sudėtą yra panašūs.

Pateikti duomenys rodo, kad skirtumai tarp sieros ir azoto junginių vidutinių koncentracijų korozijos procesų tyrimo vietose buvo ne didesni kaip 30%. Chloridų vidutinės koncentracijos krituliuose Preiloje buvo 5–6 kartus didesnės nei Utenos ir Vilniaus centro tyrimo klimatinėse stotyse. Tai aiškintina teršalų lokaline emisija prie jūros. Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad kiekvienoje tyrimo vietoje tirtose teršalų koncentracijoms būdingas didelis kaitos intervalas. Teršalų koncentracija krituliuose keičiasi priklausomai nuo kritulių gausos. Kritulių kiekiui didėjant, teršalų koncentracija juose mažėja dėl praskiedimo efekto ir atvirkščiai.

Svarbiausi ir dažniausi organiniai junginiai, kuriuos mikroorganizmai gali utilizuoti ir kurie yra ant atmosferos sąlygomis eksponuojamų metalo paviršiaus – įiedadulkės, dulkelės, lakieji organiniai junginiai bei įuvusio mikroorganizmų biomasė. Minėti cheminiai junginiai ore lengvai oksiduojami. Tokiu būdu cheminiai teršalai turi šakos cheminės ir mikrobiologinės korozijos intensyvumui. Pradėjusiam

2 lentelė. **Kritulių kiekio ir pagrindinių cheminių junginių koncentracijų krituliuose statistinės vertės 2003 m.**

Table 2. **Statistical data on the quantity of precipitations and concentration of chemical constituents in 2003**

	Vertė	Tyrimo vieta		
		Vilniaus centras	Utena	Preila
Kritulių kiekis mm/mėn.	mažiausia	0,8	10	1,5
	didžiausia	55	126	136
	vidutinė	28	58	43
SO ₄ ²⁻ mg/l	mažiausia	0,25	0,26	0,43
	didžiausia	4,24	0,85	1,34
	vidutinė	1,03	0,57	0,79
NO ₃ ⁻ mg/l	mažiausia	0,15	0,15	0,20
	didžiausia	4,11	0,66	1,47
	vidutinė	0,80	0,40	0,58
NH ₄ ⁺ mg/l	mažiausia	0,07	0,02	0,18
	didžiausia	3,73	0,57	1,05
	vidutinė	0,80	0,36	0,52
Cl ⁻ mg/l	mažiausia	0,22	0,18	0,58
	didžiausia	7,75	0,89	9,0
	vidutinė	1,59	0,44	2,41

koroduoti metalų paviršiuje susidaro korozijos židiniai. Juose yra unikali aplinka mikroorganizmams vystytis. Mikroorganizmai prie specifikos, neaprasotos aplinkos, kurioje yra gausu cheminių teršalų, turi prisitaikyti. Mikroorganizmų vystymosi ant metalų paviršiaus rūdžių švairovė ir jų morfologiniai savitumai atspindi sąlygų ekstremalumą. Cheminių analizių skirtumai turi įtakos ir elektrocheminės bei mikrobiologinės korozijos procesų eigai. 9 pav. parodyta cheminių analizių kaita krituliuose 1–3 ir 4–6 ekspozicijos mėnesiais. Gauti tyrimo rezultatai (2, 3, 9, 10 pav. ir 2 lentelė) galima palyginti ūlapių srautų vidurkius, mikroorganizmų koncentracijas ant metalų plokštelių ir su jomis kontaktavusių kritulių, ku-

riose buvo nustatytos ūlapių srautų analitės. Vilniaus korozijos tyrimo klimatinėje stotyje sulfatinės sieros, nitratinio ir amoniakinio azoto ir chlorido koncentracijos buvo mažesnės nei kitose korozijos tyrimo klimatinėse stotyse. Vilniaus tyrimo stotis pagal ūlapių srautų rezultatus skyrėsi ir tuo, kad per kitus ekspozicijos mėnesius (4–6 mėn.) ūlapių srautai dar sumažėjo. Preilos tyrimo klimatinėje stotyje visų anksčiau išvardytų junginių ūlapių srautų koncentracija didėjo, didėjant ekspozicijos periodui. Ypač per 4–6 ekspozicijos mėnesiais išaugo nitratinio azoto ir chlorido ūlapių srautai. Pokyčių laukta ir mikroorganizmų gausos linkme. Iš rezultatų, parodytų 10 pav., gerai matyti gyvybingų mikromicetų, labiau mikromicetų nei bakterijų, koncentracijos sumažėjimas metalines plokšteles nuplovusiam krituliu vandenyje po 6 mėn. ekspozicijos, palyginti su koncentracijomis po 3 mėn. ekspozicijos. Toks sumažėjimas užregistruotas visose klimatinėse stotyse. Vilniaus ir Preilos korozijos tyrimo klimatinėse stotyse po 6 ekspozicijos mėnesių ant metalo plokštelių nustatytas kur kas mažesnis gyvybingų mikromicetų pradų skaičius (3 pav.). Tuo tarpu gyvybingų bakterijų ląstelių skaičius 4–6 ekspozicijos mėnesiais padidėjo ir koreliavo su ūlapių srautų kiekiu padidėjimu. Ypač ryškiai bakterijų gyvybingumas padidėjo ant Al, Cu ir Fe plokštelių Preilos korozijos tyrimo klimatinėje

3 lentelė. **Nuo metalinių plokštelių (Al, Cu, Fe ir Zn), 3, 6 ir 9 mėnesius eksponuotų keturiose korozijos tyrimo klimatinėse stotyse, išskirtų mikromicetų rūdžių skaičius**

Table 3. **Micromycete species isolated from metal (Al, Cu, Fe and Zn) coupons exposed for 3, 6 and 9 months in the corrosion investigation sites**

Ekspozicija (sezonas)	Vilnius		Preila			Molėtai		Utena		
	BRS	nauji*	BRS	nauji	nauji	BRS	nauji	BRS	nauji	nauji
3 mėnesiai (vasara)	22*		41			44		23		
6 mėnesiai (vasara/ruduo)	13	6	24	11		7	4	13	7	
		46,1%		45,8%			57,1%		53,8%	
9 mėnesiai (vasara /ruduo/žiema)	22	15	15	7	6	18	10	17	10	6
		68,2%		46,6%	40,0%		55,6%		58,8%	35,3%

BRS – bendras rūdžių skaičius po kiekvieno ekspozicijos periodo;

*Naujų mikromicetų rūdžių skaičius ir jų kiekis (%) bendrame rūdžių išskirtame kiekyje kiekvieno ekspozicijos periodo pabaigoje.

4 lentelė. Mikromicetø rūšiø, išskirtø nuo aliuminio, vario, plieno ir cinko plokðteliø pavirðiaus ir su jomis kontaktavusiame vandenyje, tapatumo palyginimas

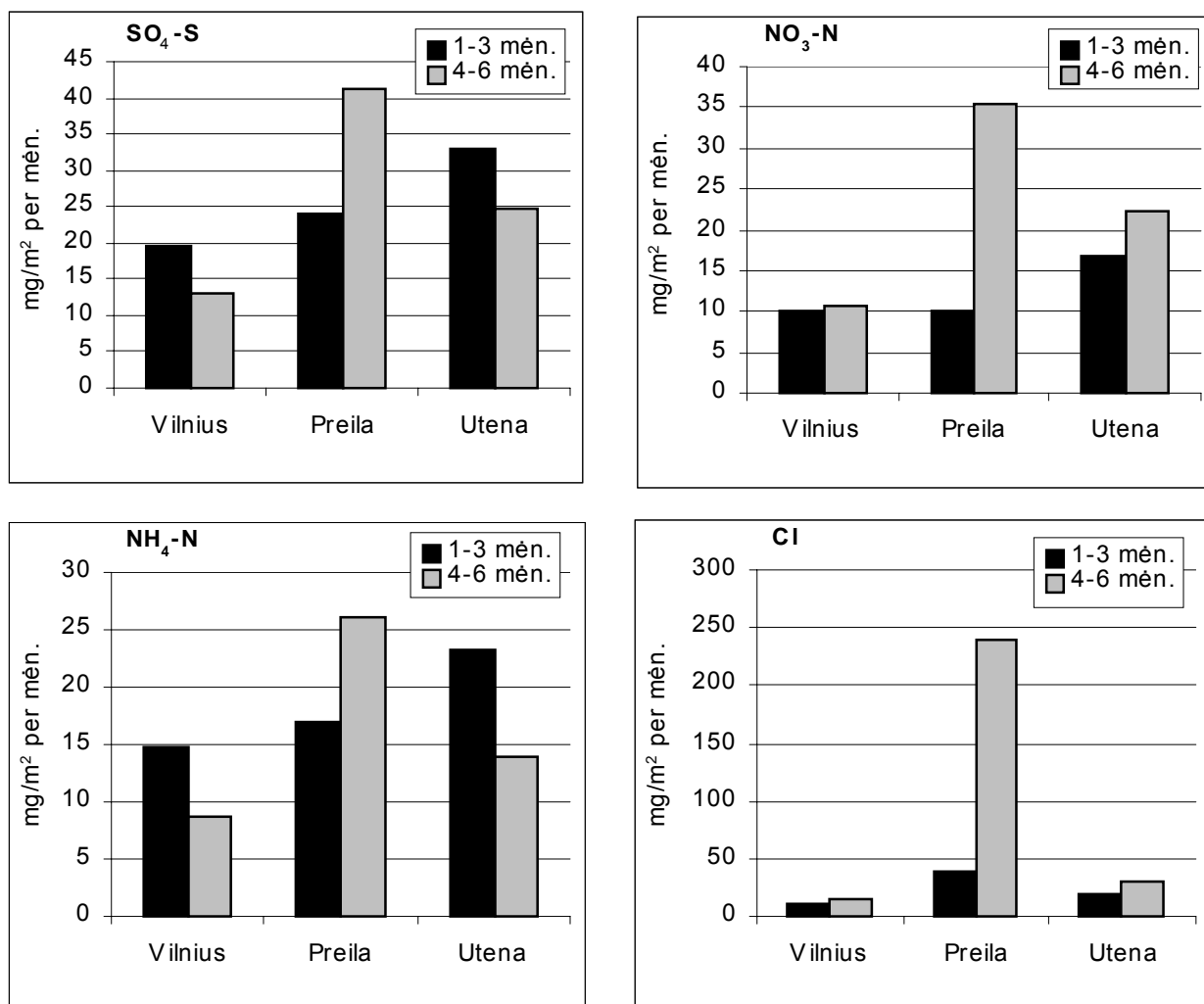
Table 4. Comparison of the micromycete species isolated from metal coupons and the precipitations collected after they washed metal coupons

Tyrimo stotis	Metalas	Ekspozicijos laikas mėn.		
		3	6	9
Vilnius	Al	<i>Acremonium nordinii</i>	0	<i>Penicillium stoloniferum</i>
		<i>Cladosporium cladosporioides</i>		
	Cu	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	0
		0	0	<i>Penicillium stoloniferum</i>
Zn	<i>Cladosporium herbarum</i>	0	<i>Aspergillus niger</i>	
Preila	Al	<i>Exophiala jeanselmei</i>		<i>Exophiala jeanselmei</i>
	Cu	0	0	0
	Fe	<i>Exophiala jeanselmei</i>	0	<i>Exophiala jeanselmei</i>
		0	0	0
Molėtai	Zn	0	0	0
	Al	<i>Exophiala jeanselmei</i>	0	<i>Exophiala jeanselmei</i>
		Cu	<i>Penicillium expansum</i>	0
	Fe	<i>Acremonium charticola</i>	<i>Acremonium charticola</i>	<i>Acremonium charticola</i>
		<i>Aspergillus niger</i>		<i>Aspergillus niger</i>
Zn	<i>Aspergillus niger</i> <i>Paecilomyces parvus</i>	0	<i>Paecilomyces parvus</i>	

stotyje. Gyvybingø bakterijø koncentracija Vilniaus ir Utenos tyrimo stotyse (2 pav.) sumapëjo 4–6 ekspozicijos mėn. Tai koreliuoja su ðlapiøjø srautø sumapëjimu ðiose tyrimø stotyse po 6 ekspozicijos mėn. Kaip pastebëta anksëiau (8 pav.), krituliø kiekis buvo atvirkðëiai proporcingas cheminiø analiëiø koncentracijai juose. Toks santykis susidaro vertinant pagal krituliø kiekio ir cheminiø analiëiø juose vidurkius. Rezultatus išskaidþius atskirais blokais pastebima skirtinga mikroorganizmø reakcija terðalams bei nevienodos mikroorganizmø adaptacinës galimybës skirtingomis drëgmës ir eksponavimo periodo (ypaè temperatūros kaitos) sąlygomis.

Iðanalizavus mikromicetus, išskirtus nuo skirtingomis natūraliomis sąlygomis eksponuojamø metalø ir išskirtus ið turėjusio su metalais sąlytá krituliø vandens (3 lentelė), pastebëtas rūðiø skaiëiaus kitimas. Nustatyti tirtø metalø kontaminacijos procesø bendri dësningumø skirtumai korozijos tyrimo klimatinëse stotyse. Praëjus 3 ekspozicijos mëniesiams gausene mikromicetø rūðiø ávairove iðsiskyrë Vilniaus ir Utenos tyrimo stotyse. Jose buvo aptikta dvigubai daugiau

mikromicetø rūðiø. Apskritai mikromicetø rūðiø skaiëius po 3 mėn. ekspozicijos buvo didesnis negu kitais periodais visose korozijos tyrimo klimatinëse stotyse. Tai galima paaiðkinti mikromicetø rūðiø ávairove aplinkoje ir gausos piku rudens pradþioje. Didesnë mikromicetø ávairovë ore turi átaká ir didesnei metaliniø plokðteliø kontaminacijai bei mikromicetø rūðiø ávairovei ant jø. Po 6 mėn. ekspozicijos mikromicetø rūðiø ávairovë ant metaliniø plokðteliø sumapëjo nuo 2 iki 6 kartø visose metalø korozijos tyrimo klimatinëse stotyse. Rudens periode gausûs lietûs nuplauna didelá dalá mikromicetø pradø nuo metaliniø plokðteliø pavirðiaus. Ant jø lieka tik stipresná ryðá su metalais ir ant metalø pavirðiaus esanëiu korozijos produktø sluoksniu turintys mikromicetø pradai. Ant plokðteliø pavirðiaus po 6 mėn ekspozicijos buvo aptikti tokie rūðiø mikromicetai, kuriø nebuvo po 3 mėn. ekspozicijos ir kurie sudarë nuo 45,8% (Preila) iki 57,1% (Molėtai) bendro išskirtø rūðiø mikromicetø skaiëiaus. Po 9 mėn. ekspozicijos laikotarpiu, kuris sutapo su þimos periodu, išskirtø mikromicetø rūðiø ávairovë visose korozijos tyrimo klimatinëse stotyse

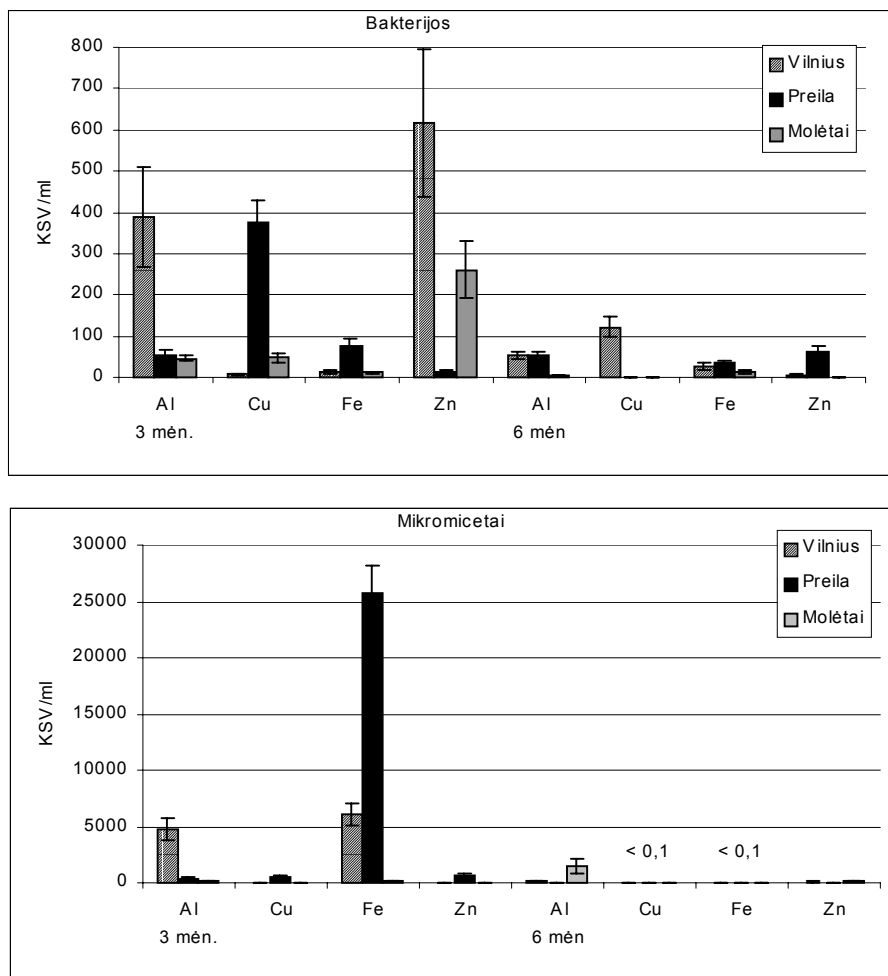


9 pav. Sulfatinės sieros (SO₄-S), nitratinio azoto (NO₃-N), amoniakinio azoto (NH₄-N) ir chlorido (Cl) ūlapijose srautų vidurkis (mg/m² per mėn.) metalo korozijos tyrimo vietose 1–3 ir 4–6 ekspozicijos mėnesius

Fig. 9. Mean cling concentration (mg/m² per month) of sulphur (SO₄-S), nitrogen (NO₃-N) and chloride in the sites of climatic investigations during 1–3 and 4–6 months of exposure

vėl padidėjo. Dymų mikromicetų rūšių skaičiaus sumažėjimą po 6 mėn. ekspozicijos ir jė padidėjimą po 9 mėn. ekspozicijos matomai reikėtų aiškinti padidėjusių kritulių kiekiu rudens sezonu ir visai naujose, dažniausiai iš *Penicillium* bei *Aspergillus* genėse, mikromicetų rūšių pasirodymu ir vyravimu ant metalinių plokštelių žiemos metu. Tai sietina su nuostata, kad dideliame mieste orui yra būdingas mikromicetų koncentracijos pikas žiemą. Kitose – kaimiško tipo tyrimo stotyse mikromicetų rūšių skaičius irgi padidėjo, bet nepasiekė rudeninio piko. Preilos korozijos tyrimo klimatinėse stotyje fiksuota visai kitokia, nei kitoje tyrimo stotyje, mikromicetų rūšių kaita. Šioje klimatinėje stotyje aptinkamose mikromicetų rūšių skaičius mažėjo nuosekliai didėjant metalinių plokštelių ekspozicijos laikui. Preilos tyrimo stotyje buvo pastebėtas naujai po kiekvieno ekspozicijos periodo išskirtose mikromicetų rūšių skaičiaus mažėjimas bei *Penicillium* ir *Aspergillus* genėse pradėję negausėjimas žiemos metu.

Palyginus išskirtus vyraujančius mikromicetus ant metalinių plokštelių ir juos nuplovusios kritulio vandenyje mikromicetų rūšis (4 lentelė), galima pastebėti nevienodą rūšių mikromicetų paplitimą ant skirtingose metalinių plokštelių. Vyraujančios rūšių mikromicetų išryškėjo ir vertinant mikromicetų aptinkamumą ant metalinių plokštelių, eksponuojamose atmosferos sąlygomis, dažniau. Tačiau konkrečios rūšių mikromicetų tiesioginio ryšio su metalo korozijos eiga nustatyti nepavyko, kadangi nebuvo dėsningas jė vyravimas ant metalinių plokštelių visose korozijos tyrimo klimatinėse stotyse. Pavyzdžiui, labai gausiai ant Al ir Fe plokštelių, eksponuojamose Preilos stotyje, ir Al plokštelių, eksponuojamose Molėtų tyrimo stotyje, vystėsi *Exophiala jeanselmei*, tačiau nuo šių metalo, eksponuojamose Vilniaus stotyje, nebuvo išskirti, arba pastebėtas tik pavienis kolonijų augimas ant mitybinių terpių. Gana plačiai švairiomis gamtinėmis sąlygomis paplitusios *Aspergillus niger* rūšies mikromicetų aptinkamumo ant tiriamose metalinių plokštelių dažnis buvo nedidelis, nors buvo ap-



10 pav. Vidutinės gyvybingø bakterijø ir mikromicetø koncentracijos (kolonijas sudarantys vienetai – KSV) kritulio vandenyje, turėjusiame sąlytą su metalinėmis plokštelėmis po 3 ir 6 mėn. ekspozicijos metalø korozijos tyrimø stotyse

Fig. 10. Mean concentration of viable micromycetes (colony forming units – CFU) in the precipitations as evaluated after 3 and 6 months of exposure in the corrosion investigation sites

tinkamas ant visø rūdies metaliniø plokšteliø visos 9 mėn. ekspozicijos metu. Nepaisant atskiro rūdies nevienodo aptinkamumo dažnio, 3 lentelėje nurodytø rūdies mikromicetai buvo aptinkami ant metaliniø plokšteliø visø tyrimø metu àvairiomis tyrimo sąlygomis. Jø vystymasis periodiškai stebėtas taikant optinės mikroskopijos metodus ir išvardyti mikromicetai gali būti priskiriami 4 lentelėje nurodytoms rūdims, kurios tiesiogiai dalyvauja diø metalø korozijos procesuose, vykstančiuose atmosferos sąlygomis.

DISKUSIJA

Atliktø tyrimø rezultatai patvirtina ušsienio autoriø (Gorbushina et al., 2004; Strzelezyk, 2004; Yang et al., 1996) teiginius, kad metalø korozijos eiga ir mikroorganizmø agresyvumo laipsnis priklauso nuo atmosferos sąlygø, kuriomis ðie procesai vyksta, ir kad pagrindiniai korozijos iniciatoriai yra mikroor-

ganizmai. Tokiais atvejais dažnai nurodoma bakterijø funkcinės veiklos átaka. Atliktø tyrimø rezultatai papildø þinias apie mikromicetø átakà metalø korozijai. Rūgøtūs mikromicetø metabolitai sudaro ypaè agresyvià terpà metalø korozijai vystytis. Be to, ant metalø besivystantys mikromicetai sulaiko ir kaupia àvairias organines ir mineralines medþiagas, kurios padidina pavirðiaus uþterøtumà ir skatina korozijos procesø eigà.

A. Gorbushina ir kt. (2004) nurodo, kad pagal gebėjimà pasisavinti vandens kiekà ir gebėjimà išgyventi jo stokoiant mikroorganizmai labai skiriasi. Autoriai teigia, kad jautriausios drėgmės sumapėjimui yra bakterijos, maþiau jautrūs – aktinomicetai, o atspariausi – mikromicetai. Gauti mūsų atliktø tyrimø rezultatai tai patvirtina, tik reikėtø nurodyti, kad sporinės bakterijos yra gana atsparios drėgmės trūkumui, o kai kuriems mieliagybiams būdingas padidėjęs jautrumas drėgmei.

Atliekant tyrimus ant Baltijos jūros kranto esančioje Preilos klimatinėje sto-

tyje, pastebėta, kad diomis sąlygomis metalø pavirðius pasidengia chloridais ir kitais aerozoliø id jūros išneðamais junginiais. Tokiu būdu metalo pavirðiuje susidaro skysėio plėvelė, kurià, pagal T. Sinoharà ir kt. (1999), gali sudaryti stiprus elektrolitas, kuriuo ðiuo atveju tampa jūros drėgmė id oro absorbuojanėios jūrø druskos. Pastaruoju metu laikomasi prielaidos, kad metalo pavirðiuje adsorbuotos drėgmės sluoksnis susiformuoja ir idlieka jo pavirðiuje tik tà periodà, kurio metu santykinė oro drėgmė didesnė kaip 80% miesto ir kaimo sąlygomis, o jūrinio klimato sąlygomis ji >60%. Temperatūra tokiais atvejais turi būti aukštesnė nei 10°C.

Mikroorganizmø gausa aplinkos sąlygomis nėra pagrindinis veiksnys, lemiantis metalø pavirðiaus kontaminacijos procesà. Kai kurie lėtai auganėios ir sunkiai specifinėmis sąlygomis besivystanėios rūdies grybai tam tikru metu laiku bei atmosferos sąlygomis yra gausiai paplitę aplinkos, ypaè miestø ore (Juozaitis ir kt.,

1997; Lugauskas ir kt., 1999), taėiau jie, nusėda ant metalo pavirėiaus, neprigija ir nesivysto arba juos nustelbia intensyviai besivystanėiø rėdiø grybai.

Atliktø tyrimø duomenis patvirtina kitø autoriø (Eriksson, 1993; Svensson, Johansson, 1995, 1996) samprotavimai, kad nemaėa atakà besivystanėiø ant metalo mikroorganizmø aktyvumui daro oro drėgmė, krituliø kiekis, jø cheminė sudėtis.

Viena būdingiausiø metalo savybiø yra tvirtumas, garantuojantis panaudojimo ilgalaikiškumą ir atsparumą idorės veiksniams. Taėiau dauguma tirtø metalø jau po 1 mėn. ekspozicijos buvo nepymiai mikroorganizmø paėeisti. Tai reiėkia, kad per trumpà laikà drėgmė indukavo mikroorganizmø vystymàsi. Metalai nėra palankus gamtinis substratas mikroorganizmams. Gamtinėmis sąlygomis eksponuojant jø vystymuisi ant metalo daėnai yra nepalanki ir aplinkos temperatūra. Taėiau metalo paėeidimas tokiomis sąlygomis nėra retas reiėkinys. Vieninteliai mitybos komponentai ant metalo pavirėiaus natūraliomis sąlygomis yra terėalai, oksidacijos ir kitø cheminiø transformacijø produktai, kurie kaupdamiesi sukuria sąlygas korozijos vyksmui. Ant metalo pavirėiaus id pradėiø mikroorganizmams susidaro minimaliausias mitybos ir drėgmės sąlygos. Todėl ėia aptinkami tik oligotrofiniø rėdiø mikroorganizmai, kuriuos galima aptikti ant ávairiø, sunkiai ardomø substratø pavirėiø: akmens, betono, plytø (Borowski, 2004; Strzelezyk, 2004; Wollenzien et al., 1995).

IŠVADOS

1. Natūraliomis aplinkos sąlygomis ant eksponuojamø metalo pavirėiaus id oro ir nuo kitø substratø patenka ávairiø rėdiø mikromicetai ir kiti mikroorganizmai. Vienø mikroorganizmø pradai yra krituliø vandens, stipraus vėjo ir kitø aplinkos veiksniø nuo metalo pavirėiaus paėalinami, kiti – pasilieka, laipsniškai prisitaiko, pradeda funkcionuoti, idskiria metabolitus ir veikia metalo pavirėiuje vykstanėius korozijos procesus. Taėiau atskirø rėdiø mikromicetø adaptacinė galia yra skirtinga.

2. Atliktø tyrimø duomenimis, stipriai prie metalo pavirėiø geba adhezuoti kai kuriø *Penicillium* genties rėdiø (*P. frequentans*, *P. stoloniferum*, *P. expansum*), *Aspergillus* genties (*A. niger*, *A. fumigatus*, *A. repens*), *Cladosporium* genties (*C. cladosporioides*, *C. herbarum*), *Acremonium* genties (*A. nordinii*, *A. charticola*, *A. murorum*), *Exophiala jeanselmei*, *Paecilomyces parvus*, *Verticillium album*, *Arthriniium phaeospermum* ir kai kuriø sporiniø bakterijø pradai.

3. Mikromicetø vystymosi metalo pavirėiuje sėkmė lemia metalo savybės: vilgumas, drėgmės adsorbcijos id aplinkos greitis; stiprià atakà turi aplinkos terėalai, temperatūra. Pastebėta, kad tiek pagal gebėjimą pasisavinti metalo pavirėiuje esantà kapiliarinà bei kohezinà vandenà, tiek pagal jautrumà van-

dens trėkumui mikroorganizmai labai skiriasi. Maėiau reiklios aplinkai yra sporinės bakterijos ir mikromicetai.

4. Mikroorganizmø vystymuisi ant metaliniø plokėteliø pavirėiø didelė atakà turi aplinkos sąlygos, nes jos pirmiausia lemia adsorbuoto drėgmės sluoksnio susiformavimą ir jo idlikimą metalo pavirėiuje. Atliktø tyrimø rezultatai parodė, kad tirtø metalo pavirėiaus vilgumo reikėmes τ_e pirmiausia lemia metalo savitumai, taėiau vilgumo eiga ėenkliai priklauso nuo aplinkos, kurioje ėis procesas vyksta. Pavyzdėiui, Vilniaus centro sąlygomis Al τ_e vertė siekė beveik 11% eksponavimo laiko, tuo tarpu Zn – 4,2%, o Utenos rajone ėis skirtumas buvo didesnis 9 kartus: atitinkamai Al – 33,3%, Zn – 3,7%.

5. Idanalizavus mikromicetus, idskirtus id krituliø vandens, turėjusio sąlytą su ávairiomis klimatinėmis sąlygomis eksponuojamomis keturiø metalo plokėtelėmis, paaiėkėjo, kad tokiam vandenyje ilgesnà laikà idlieka ir pradeda vyrauti tik tø rėdiø mikromicetai, kurie geba funkcionuoti didesniø sulfatinės sieros, nitratinio ir amoniakinio azoto bei chlorido koncentracijø sąlygomis. Pastebėta, kad kai kuriø rėdiø mikromicetai (*Penicillium tardum*, *Paecilomyces parvus*, *Verticillium album*) geba intensyviai daugintis krituliø, turėjusio sąlytą su Al ir Fe plokėtelėmis, vandenyje.

PASTABA

Darbas atliktas gavus Lietuvos valstybinio mokslo ir studijø fondo paramà (Sutartis Nr. K – 059) tyrimams tema „Lietuvos atmosferos korozinio agresyvumo regionavimas: mikroorganizmø ir atmosferos tarėos atakos ávertinimas“.

Gauta 2004 09 23

Literatūra

1. Ashcroft N. W., Mermin N. D. *Solid state physics*. Holt-Saunders Coll. Publishing, Philadelphia, 1988. 704 p.
2. Barton K. *Protection Against Atmospheric Corrosion*. London, New York: John Wiley & Sons, 1976. 194 p.
3. Beech I. B. Corrosion of technical materials in the presence of biofilm-current understanding and state-of-the art methods of study. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2004. Vol. 53. P. 177–183.
4. Boerema G. H., Dorenbosch M. J. The Phoma and Ascochyta species described by Wollenweber and Hockopfel in their Institute of study on fruit-rotting. *Studies in Mycology*. 3. *Centraalbureaux voor Schimmel cultures Baarn*. The Royal Netherlands Academy of Sciences and Letters, The Netherlands, 1973. 50 p.
5. Borowski S. The role of municipal waste dumps and wastewater treatment plants in forming atmospheric bioaerosols. Abstracts. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2004. Vol. 53. P. 192.
6. Carmichael J. W., Kendrick B. W., Connors I. L., Sigler L. *Genera of Hyphomycetes*. Canada: The University of Alberta Press, 1980. 386 p.

7. Characlis W. G., Marshall K. C. *Biofilms*. New York: Wiley, 1990.
8. Chistensen M., Frisvald J. C., Tuthill D. Taxonomy of the *Penicillium miczynskii* group based on morphology and secondary metabolites. *Mycol. Res.* 1999. Vol. 105. N 5. P. 527–541.
9. Domsch K. H., Gams W., Anderson T. H. *Compendium of soil fungi*. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press, 1980. Vol. 1. 860 p.
10. Ellis M. B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. Kew: Common. Mycol. Inst., 1971. 606 p.
11. Ellis M. B. *More Dematiaceous Hyphomycetes*. Kew: Common. Mycol. Inst., 1976. 567 p.
12. *EMEP/CCC-Report 1/95*. Revision November 2001. EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollution in Europe. Manual for sampling and chemical analysis.
13. Eriksson P., Johansson L.-G., Strandberg H. J. Initial Stages of Copper Corrosion in Humid Air Containing SO₂ and NO₂. *Electrochem. Soc.* 1993. Vol. 140. N 1. P. 53.
14. Flemming H.-C. Biofouling and microbiologically influenced corrosion (MIC)-an economical and technical overview. Heitz E., Sand W., Flemming H.-C. (Eds.). *Microbial Deterioration of Materials*. Springer, Heidelberg, 1996. P. 5–14.
15. Gams W. *Cephalosporium – ortige Schimmelpilze (Hyphomycetes)*. Jena: WEB Gustav Fisher Verlag, 1971. 262 p.
16. Gaylarde C. C., Beech I. B. Molecular basis of bacterial adhesion to metals. Sequeira C. A. C., Tiller A.K. (Eds.). *Microbial Corrosion 1*. UK: Elsevier Applied Science, Barking, Essex, 1988. P. 20–28.
17. Gaylarde C. C., Videla H. A. Localised corrosion induced by marine Vibrio. *International Biodeterioration*. 1987. Vol. 23. P. 91–104.
18. Gorbushina A. A., Heyrman J., Dornieden T., Gonzalez-Delvalle M., Krumbein W. E., Laiz L., Petersen K., Saiz-Jimenez C., Swings J. Bacterial and fungal diversity and biodeterioration problem in mural painting environments of St. Martins church (Greene-Kreienzen, Germany). *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2004. Vol. 53. P. 13–24.
19. Goudie A. S. *The Human Impact*. Cambridge. Mass: MIT Press, 2000. 448 p.
20. Hansworth D. J., Kirk P. M., Sutton B. C. *Ainsworth et Bisby's dictionary of the fungi*. Eighth Edition prepared by the International Mycological Institute, CAR International, Ca, 1995. 616 p.
21. Helsen J. A., Breme H. J. *Metals as Biomaterials*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 510 p.
22. *ISO Standard 9223*; Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Clasification, 1992.
23. Jesenka Z., Pieckova E. Heat-resistant fungi. *Czech Mycol.* 1995. Vol. 48. N 1. P. 73–75.
24. Juozaitis A., Lugauskas A., Ėveistytė L. The composition and concentration of airborne fungi in Vilnius city. *Environmental Physics*. 1997. N 2. P. 35–42.
25. Kabayashi J. Distribution on metal in precipitation in Kanazawa City in a 15-month period. *Journal of Health Science*. 2001. Vol. 47. N 5. P. 502–507.
26. Leydraf Ch. Atmospheric corrosion. Marcus P., Oudar J. (Eds.). *Corrosion mechanisms in theory and practice*. New York: Marcel Dekker, 1995.
27. Lugauskas A. (sud.), Bridžiuvienė D., Levinskaitė L., Paškevičius A., Pečiulytė D., Repeškienė J., Salina O., Varnaitė R. *Mikrobiologiniai medžiagø pažeidimai*. Vilnius, 1997. 670 p.
28. Lugauskas A., Mikulskienė A., Ėliaušienė D. *Katalog micromicetov – biodestruktorov polimernykh materialov* (rusø k.). Moskva: Nauka, 1987. 341 p.
29. Lugauskas A., Paškevičius A., Repeškienė J. *Patogeniški ir toksiški mikroorganizmai įmogaus aplinkoje*. Vilnius: Aldorija, 2002. 434 p.
30. Lugauskas A., Ėveistytė L., Juozaitis A. Mikromicetø rūšys Vilniaus miesto avairaus užterštumo ore. *Ekologija*. 1999. Nr. 3. P. 63–70.
31. Marcus P., Oudar J. *Corrosion Mechanism in Theory and Practice*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc. 2002. 768 p.
32. Milko A. A. *Opredelitel mukoralnikh gribov*. Kijev: Haykova dumka, 1974. 303 p.
33. Mirėink T. G. Poėvenaja mikologija (rusø k.). Moskva: MGU, 1988. 230 p.
34. Nelson P. E., Toussoun T. A., Marasas W. F. O. *Fusarium species. An illustrated manual for identification*. London: The Pennsylvania State University Press, University Park, 1993. 193 p.
35. Pitt J. I. *The genus Penicillium and its teleomorphic status Eupenicillium and Talaromyces*. London: Academic Press, 1979. 634 p.
36. Ramirez C. *Manual and Atlas of the Penicilia*. Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1988. 874 p.
37. Raper K. B., Fennel D. J., Austwick P. K. C. *The genus Aspergillus*. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1965. 685 p.
38. Raper K. B., Thom C. *A manual of the Penicilia*. The Williams and Wilkins Company, Baltimore, 1949. 817 p.
39. Ratner B. D., Hoffman A. S., Schoen F. J., Lemons J. E. (Eds.). *Biomaterials Science, An Introduction to Materials in Medicine*. UK: Academic Press, 1996. 516 p.
40. Roberg P. R. *Handbook of Corrosion Engineering*. 1999. 1140 p.
41. Sinohara T., Oshikawa W., Motoda S. Calculation of relative humidity in equilibrium with strong electrolyte solutions by thermodynamic data. *The Journal of Corrosion Sciences and Engineering*. 1999. Vol. 6. Paper C102.
42. Strzelezyk A. B. Observation on aesthetic and structural changes induced in Polish historic objects by microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2004. Vol. 53. P. 151–156.
43. Suresh S. *Fatigue of Materials*. Cambridge Univ. Press, 1998. 678 p.
44. Svensson J.-E., Johansson L.-G. The Synergistic Effect of Hydrogen Sulphide and Nitrogen Dioxide on the Atmospheric Corrosion of Zinc; a Laboratory Study. *J. Electrochem. Soc.* 1996. Vol. 143. N 1. P. 51–58.
45. Svensson J.-E., Johansson L.-G. Sulphidation of Zinc by Traces of Hydrogen Sulphide in Air. *J. Electrochem. Soc.* 1995. Vol. 142. N 5. P. 1484–1489.
46. Szakalos P. *Mechanisms of Metal Dusting*. Doctoral Thesis (ISBN 91-7283-713-6). Stockholm, Royal Institute of Technology, 2003.
47. Tø Barke W. H. Air pollution and fuel crises in reindustrialize London. *Tech. Culture*. 1975. Vol. 16. P. 337–359.

48. WMO(UNDATAED). Chemical analysis of precipitation for GAW: Laboratory analytical methods and sample collection standards. Geneva. (WMO/GAW No. 85).
49. Wollenzien U., de Hoog G. S., Krumbein W. E., Urzì. C. On the isolation of microcolonial fungi occurring on and in marble and other calcareous rocks. *Science of the Total Environment*. 1995. Vol. 167. P. 287–294.
50. Yang S. S., Ku C. H., Bor H. J., Lin Y. T. Effects of vapor phase corrosion inhibitor on microbial corrosion of aluminum alloys. *The Journal of Corrosion Sciences and Engineering*. 1996. Vol. 29(1). P. 18–30.

Albinas Lugauskas, Dalia Peèiulytė, Rimantas Ramanauskas, Dalia Buèinskienė, Algimantas Norkevičius, Vidmantas Ulevičius

MIKROMYCETES IN THE PROCESSES OF METAL CORROSION UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS

S u m m a r y

The article presents the possibilities of fungi and other microorganisms to survive and act on the surface of four different metals (Al, Cu, Fe and Zn) and to adapt to the corrosion processes under natural, differently polluted conditions (center of Vilnius, in rural areas – district of Utena, and maritime areas – Nida, Preila). Results presented in this article illustrate that fungi and other microorganisms get

onto metal coupons from the air and substrates present in the environment to which they are exposed. Part of these microorganisms can be eliminated from metal surfaces, while others adhere, specialize and settle on the polluted surfaces. Their metabolites may initiate or enhance the metal corrosion process which also depends on the atmospheric conditions in each site. Under extreme conditions on the metal surface during the investigation, propagules of the fungi from the genera *Penicillium* (*P. frequentans*, *P. stolonifer*, *P. expansum*), *Aspergillus* (*A. niger*, *A. fumigatus*, *A. repens*), *Cladosporium* (*C. cladosporioides*, *C. herbarum*), *Acremonium* (*A. nordinii*, *A. charticola*, *A. murorum*), fungi *Exophiala jeanselmei*, *Paecilomyces parvus*, *Verticillium album*, *Arthrinium phaeospermum* and spores of some bacteria were found to be able to settle and survive. The viability of fungi and their abundance of the metal coupons exposed to atmospheric conditions correlated with the surface wettability time and with the concentrations of pollutants (NO₂, O₃, H₂S and NaCl) present in the atmosphere and in precipitation water. The succession of fungi on the metal coupon surface depended on the metal properties and humidity conditions. Microorganisms differed in their ability to utilize capillary water and cohere water present on the metal surfaces, as well as in their resistance to the lack of water.

Key words: atmosphere, environmental conditions, fungi, bacteria, corrosion, chemical pollution