

Agrovoc descriptors: aerosols, working conditions, sampling, universities, health services, fungi, bacteria, moulds

Agris category code: T01

COBISS Code 1.01

Ocena bioaerosolov v delovnih prostorih

Barbara JERŠEK¹, Tina ZORMAN²

Delo je prispelo: 10. februarja 2006; sprejeto: 20. aprila 2006

Received: February 10, 2006; accepted: April 20, 2006

IZVLEČEK

V različnih prostorih na fakulteti in v zdravstvenem domu smo ocenili bioaerosole. Za vzorčenje bioaerosolov smo uporabili vzorčevalec Mas-100. Na fakulteti je bila v zraku določena povprečna koncentracija bakterij 423 ± 842 cfu/m³ in povprečna koncentracija plesni 142 ± 374 cfu/m³. Glede na rezultate o povprečni koncentraciji bioaerosolov in identifikaciji glavnih rodov plesni sta bila kot neustrezna določena le dva od 26 preiskanih prostorov. Statistično značilna korelacija je bila določena med koncentracijo bakterij in številom ljudi v posameznem prostoru. V zdravstvenem domu je bila povprečna koncentracija bakterij 405 ± 206 cfu/m³ in povprečna koncentracija plesni 73 ± 56 cfu/m³. Koncentracije bioaerosolov določene v zdravstvenem domu, ki ima umeten način prezračevanja (sistem HVAC), se statistično niso razlikovale od koncentracij bioaerosolov na fakulteti. Ker je bilo v zdravstvenem domu vzorčeno le omejeno število bioaerosolov, bi bile nujne dodatne preiskave za ocenitev delovanja sistema HVAC.

Ključne besede: higiena okolja, mikrobiologija zraka, kakovost zraka v prostoru, bioaerosol, bakterije, glive

ABSTRACT

ESTIMATION OF BIOAEROSOLS IN WORK ENVIRONMENTS

Bioaerosols were evaluated in different places at the faculty and in the health centre. Mas-100 Air Sampler was used for bioaerosol collection. Average bacterial and fungal concentrations at the faculty were 423 ± 842 cfu/m³ and 142 ± 374 cfu/m³, respectively. These data together with data of moulds identification indicated that only 2 indoor environments among 26 examined places at the faculty contained unacceptable bioaerosols. Statistically significant correlation was found between the bacterial concentrations and the numbers of present persons. Average bacterial and fungal concentrations in the health centre were 405 ± 206 cfu/m³ and 73 ± 56 cfu/m³, respectively. Bioaerosols concentrations in the health centre with HVAC system statistically did not differ from the ones obtained at the faculty. As only limited numbers of bioaerosols were examined in the health centre further investigations are necessary to evaluate efficiency of HVAC system.

¹ Doc. dr., Univ. v Ljubljani, Biotehniška fak., Odd. za živilstvo, Jamnikarjeva 101, 1111 Ljubljana, Slovenija

² Dr., Univ. v Ljubljani, Biotehniška fak., Odd. za živilstvo, Jamnikarjeva 101, 1111 Ljubljana, Slovenija

Keywords: Environmental hygiene, air microbiology, indoor air quality, bioaerosol, bacteria, fungi

1 UVOD

Bioaerosol je definiran kot aerosol, ki vsebuje delce biološkega izvora ali snovi, ki imajo alergijski (Simeray in sod., 1997; Burge in Rogers, 2000), infektivni (Madelin, 1994), toksikološki ali drug neželen učinek na ljudi (Crook in Sherwood-Higham, 1997; Buttner in sod., 2001). Bioaerosoli lahko vsebujejo različne snovi rastlinskega ali živalskega porekla in mnoge mikroorganizme ter njihove izločke (Douwes in sod., 2003).

Mikroorganizmi v zraku so lahko živi, mrtvi ali pa so le delčki mikroorganizmov, kot so na primer fragmenti micelija. Ponavadi so mikroorganizmi vezani na prašne ali vodne delce, prosto pa so v zraku lahko prisotne bakterijske endospore in spore gliv (Douwes in sod., 2003). Velikost delcev v bioaerosolih je zelo različna, povprečen premer je od 0,3 μm pa vse do 100 μm . Med njimi so primarnega pomena delci velikosti od 1 μm do 10 μm , ker so le-ti tisti, ki jih vdihavamo (Stetzenbach in sod., 2004). Velikost posameznih bakterijskih celic je med 0,5 μm in 2 μm , vendar so bakterije v zraku ponavadi v obliki večjih skupkov. Velik delež bioaerosola predstavljajo glive, velikost njihovih spor je od 3 do 30 μm (Adhikari in sod., 2004). Spore, večje od 10 μm , se ob vdihavanju usedajo v nosno-žrelno votlino in so lahko vzrok senenega nahoda (Braun-Fahrländer in sod., 1999; Braun-Fahrländer in sod., 2002). Spore, manjše od 10 μm in še posebej tiste, ki so manjše od 6 μm pa ob vdihavanju pridejo vse do pljuč in lahko povzročajo težja alergijska obolenja ali astmo (Simeray in sod., 1995). Delci velikosti 1-5 μm v splošnem lebdi v zraku, medtem ko se večji delci usedajo na površine. Med najpomembnejše okoljske parametre, ki vplivajo na gibanje delcev v bioaerosolu, spadajo zračni tokovi, relativna vlaga in temperatura prostora (Gorny, 2004). Med mikrobnimi izločki, so v bioaerosolih lahko različni sekundarni metaboliti, kot so endotoksini, mikotoksini in različne hlapne organske spojine (Douwes in sod., 2003).

Zrak v prostorih, z izjemo zraka v nekaterih bolnišničnih prostorih, normalno vsebuje mnoge mikroorganizme, katerih raznolikost in koncentracija sta odvisni od mnogih parametrov kot so: vrsta in vzdrževanje prostora, vrsta dela, ki se opravlja v prostoru, način prezračevanja prostora (naraven ali umeten), relativna vlaga in temperatura v prostoru, prisotnost virov kontaminacije ter letni čas (Griffiths in DeCosemo, 1994; Crook in Sherwood-Higham, 1997; Green in sod., 2003).

Čiščenje zraka je splošen izraz za odstranjevanje delcev in plinov iz zraka z mehanskimi napravami, ki lahko delujejo na osnovi filtracije in/ali kemičnega odstranjevanja plinov (Brown, 2003). Večje ustanove so običajno opremljene s sistemom umetnega prezračevanja in temperiranja zaprtih prostorov (HVAC, angl. heating, ventilation and air conditioning system). Odstranjevanje večjih in/ali manjših delcev iz zraka je odvisno od vrste filtrov v takih sistemih (Brown, 2003; American Thoracic Society, 1997). Sistem HVAC je po drugi strani pogosto tudi vzrok za probleme povezane s previsoko vlago v prostoru, ker sistem nima ustrezne kapacitete odstranjevanja kondenzatov, ki so lahko vir kontaminacije. Pri ljudeh se pogosto pojavljajo alergijski, infektivni in drugi neželeni učinki zraka s povišano

koncentracijo bioaerosolov, predvsem v prostorih z zastarelim ali nepravilno vzdrževanim sistemom HVAC (Graudenz in sod., 2002; Graudenz in sod., 2004).

Merjenja in ocene bioaerosolov v različnih delovnih prostorih so pomembni za določitev obsega in vsebine prisotnega biološkega materiala v zraku in za spremljanje ter nadzor učinkovitosti ukrepov, ki naj bi vodili do boljše kakovosti zraka (Witschger in sod., 2004). Ocena bioaerosolov v izobraževalnih ustanovah je še posebej pomembna zaradi starosti in občutljivosti populacije, ki se zadržuje v takih prostorih. Dolgotrajno zadrževanje v zračnem okolju z neprimerno koncentracijo bioaerosolov ima lahko dolgotrajne in resne posledice, kot sta povečana občutljivost in astma (Taskinen in sod., 1999).

Način vzorčenja in nadaljnje preiskave bioaerosolov so zato predvsem odvisne od samega namena študije (na primer epidemiološke študije, študije za oceno kakovosti zraka, ali študije navzkrižnih okužb in kontaminacij) (Griffiths in DeCosemo, 1994; Pasquarella in sod., 2000; Stetzenbach in sod., 2004). Vzorce bioaerosolov je lahko pasivno (ni kvantitativno in je odvisno od števila in velikosti delcev v zraku ter zračnih tokov v prostoru) ali aktivno (je kvantitativno in pomeni uporabo vzorčevalca zraka, ki v določenem času prečrpa določen volumen zraka in zadrži delce bioaerosola v tekočem ali trdem mediju) (Pasquarella in sod., 2000). Nadaljnja stopnja v oceni bioaerosolov je določitev koncentracije mikroorganizmov v zraku (Stetzenbach in sod., 2004). Metode za določanje koncentracije mikroorganizmov so razdeljene v štiri glavne skupine: (1) klasične mikrobiološke gojitvene metode, pri katerih gre za štetje kolonij zraslih na gojiščih (cfu, angl. colonies forming units), (2) mikroskopske metode, pri katerih gre za direktno štetje števila mikrobnih celic, (3) kemijske metode, pri katerih gre za meritve posameznih sestavin mikrobnih celic (na primer količina ATP) in (4) novejšje molekularne metode pri katerih gre za kvantitativno določitev DNK (na primer PCR v realnem času) (Griffiths in DeCosemo, 1994; Crook in Sherwood-Higham, 1997; Buttner in sod., 2001).

Namen prispevka je bil oceniti bioaerosole v različnih prostorih na fakulteti in v zdravstvenem domu glede na koncentracije bakterij in plesni v zraku. Želeli smo tudi ugotoviti, ali sistem umetnega prezračevanja in temperiranja zaprtih prostorov (HVAC) vpliva na količino bioaerosola v prostoru ter, če število prisotnih ljudi vpliva na koncentracijo bioaerosola v prostoru. Povod za samo delo je bilo tudi dejstvo, da pri pregledu strokovne literature s področja bioaerosolov nismo zasledili podobnih študij v slovenskem prostoru.

2 MATERIALI IN METODE

2.1 Opis prostorov

Vzorčenje zraka je potekalo v različnih prostorih dveh javnih ustanov, fakultete in zdravstvenega doma. Na fakulteti je bilo izbranih 26 prostorov oziroma 26 različnih mest vzorčenja, kot so predavalnice, študentski in raziskovalni laboratoriji, tehnološki prostori, knjižnični prostori, pisarne ter predprostor pri straniščih. V zdravstvenem domu je bilo izbranih 8 mest vzorčenja in sicer čakalnica, hodnik, šolska ambulanta, urinski in biokemijski laboratorij ter posamezni, za zdravstveni dom specifični prostori (odvzem krvi, rentgen, izolirna soba). V zdravstvenem domu je oskrba prostorov s svežim zrakom zagotovljena s sistemom umetnega prezračevanja in temperiranja (HVAC), medtem ko je na fakulteti prezračevanje naravno. Sistem HVAC v zdravstvenem domu vsebuje filtre F5 in F7, ki

zadržijo delce velikosti 5 μm oziroma 1 μm . V vseh prostorih smo ob vsakem vzorčenju zraka beležili tudi temperaturo zraka in število ljudi v prostoru.

2.2 Vzorčenje zraka za mikrobiološke preiskave

Vzorčenje zraka smo izvajali v skupno 34 prostorih, v spomladanskem času od marca do junija. V vsakem prostoru smo vzorčenje ponovili vsaj dvakrat in vsakič izvedli od 2 do 10 ponovitev vzorčenja na istem mestu. Za vzorčenje smo uporabljali vzorčevalec Mas-100 Air Sample Device (Merck, Darmstadt, Nemčija). To je enostopenjski vzorčevalec, ki prečrpa 100 L zraka v minuti. Zrak gre preko vzorčevalne šobe iz nerjavnega jekla, ki ima 400 luknjic, do petrijevke ($2r = 90 \text{ mm}$) z ustreznim gojiščem in nato na drugi strani zapusti aparat. Vzorčenje je največkrat potekalo 2 minuti, saj je večji volumen zraka pomenil preveliko koncentracijo bioaerosola, tako da nismo mogli izvesti mikrobioloških preiskav. Vzorčevalec je bil ob vzorčenju zraka postavljen v sredino prostora, približno 1 – 1,5 m nad tlemi. Ob vzorčenju so bila okna in vrata prostora zaprta. Za kultivacijo mikroorganizmov smo uporabljali hranljivi agar (nutrient agar, Oxoid CM3, Hampshire, Anglija) in sladni agar (malt extract agar, Biolife 401655, Milano, Italija) (Nesa in sod., 2001; Green in sod., 2003).

2.3 Mikrobiološke preiskave

Petrijevke z vzorci bioaerosola smo po vzorčenju inkubirali do 10 dni pri 30 °C (hranljivi agar) oziroma 28 °C (sladni agar). Rast mikroorganizmov na hranljivem oziroma sladnem agarju smo pregledovali po dveh, treh, petih in desetih dneh inkubacije. Posebej smo beležili število zraslih bakterijskih kolonij in število zraslih kolonij plesni. Število bakterijskih kolonij smo pri večini vzorcev določili po najkasneje treh dneh inkubacije, saj so pri daljši inkubaciji plesni prerasle tako hranljivi kot tudi sladni agar. Pri določanju števila plesni smo upoštevali vse kolonije, ki so zrastle v času desetdnevne inkubacije (Samson in sod., 2000). Plesni smo identificirali glede na makromorfološke in mikromorfološke lastnosti (Samson in sod., 2000). Število bakterij oziroma plesni smo izračunali tako, da smo najprej upoštevali proizvajalčevo tabelo za pretvorbo števila zraslih kolonij (Positive hole conversion table, Mas-100), nato izračunali koncentracijo bakterij oziroma plesni v m^3 zraka in rezultat podali kot povprečno število kolonijskih enot v 1 m^3 (cfu/m^3).

2.4 Statistično vrednotenje rezultatov

Statistično vrednotenje rezultatov je bilo opravljeno z računalniškim programom SAS (SAS Software. Version 8.01, 1999). Za določitev morebitnih povezav med številom ljudi v posameznem prostoru in koncentracijo bakterij oziroma plesni v zraku, smo izračunali Pearsonove korelacijske koeficiente. Za primerjavo koncentracij bakterij in plesni v prostorih fakultete in zdravstvenega doma smo uporabili postopek GLM (angl. General Linear Model). Vsi podatki so predstavljeni kot ocenjene srednje vrednosti (angl. LS- mean).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Koncentracije bioaerosola na fakulteti

Mikrobiološke preiskave zraka so bile opravljene v 26 izbranih prostorih, v katerih je bilo skupno vzorčeno in pregledano 97 vzorcev zraka. Povprečne koncentracije bakterij in povprečne koncentracije plesni so podane v tabeli 1.

Tabela 1: Povprečne koncentracije bioaerosolov v različnih prostorih na fakulteti
 Table 1: Average bioaerosols concentrations in different places at the faculty

PROSTOR (n)	N1 (cfu/m ³)	N2 (cfu/m ³)
Predavalnica 1 (10)	238 ±155	131±171
Predavalnica 2 (9)	140 ±151	110±120
Predavalnica 3 (11)	119±114	88±77
Študentski laboratorij 1 (2)	300±34	85±37
Študentski laboratorij 2 (2)	970±788	33±15
Študentski laboratorij 3 (2)	445±166	85±3
Študentski laboratorij 4 (3)	317±307	68±52
Študentski laboratorij 5 (10)	1748±1915	153±195
Študentski laboratorij 6 (2)	430±79	102±2
Raziskovalni laboratorij 1 (9)	51±64	168±155
Raziskovalni laboratorij 2 (2)	361±279	69±52
Raziskovalni laboratorij 3 (4)	86±110	113±151
Raziskovalni laboratorij 4 (2)	351±42	47±3
Hodnik (hladilnica) (2)	251±115	92±5
Hladilnica (2)	131±49	1881±2401
Tehnologija mesa (2)	2471±26	19±2
Kisarna (2)	100±0	127±45
Pekarna (4)	185±149	60±16
Vinoteka (2)	50±19	140±73
Fermentacija vina (2)	102±70	263±248
Knjižnica (2)	129±1	31±22
Indok (2)	286±68	66±56
Čitalnica (2)	54±5	49±41
Tajništvo (2)	244±246	24±2
Kopirnica (3)	278±201	63±11
WC - predprostor (2)	883±192	72±1
Povprečne vrednosti	423±842	142±374

Legenda: n: število vzorčenj zraka; N1: povprečna koncentracija bakterij; N2: povprečna koncentracija plesni

Legend: n: number of air sampling; N1: average concentration of bacteria; N2: average concentration of moulds

Na fakulteti so bile koncentracije bakterij v širokem območju od 0 do 5860 cfu/m³ in koncentracije plesni v območju od 11 do 3579 cfu/m³ (osnovni rezultati niso prikazani). Povprečna koncentracija bakterij je bila 423±842 cfu/m³ in kar 20 prostorov (76,9 %) je imelo koncentracijo bakterij nižjo od povprečne. Prostore z nižjo koncentracijo bioaerosola od povprečne koncentracije v izbranih preiskovanih prostorih, lahko ocenimo kot ustrezne (Robertson, 1997). Višje koncentracije bakterij so bile določene v študentskih laboratorijih 2, 3, 5 in 6, v prostoru tehnologija mesa in v predprostoru pred stranišči.

Povprečna koncentracija plesni v prostorih na fakulteti je bila 142±374 cfu/m³ in kar 22 prostorov (84,6 %) je imelo nižjo koncentracijo od povprečne. Iz tabele 1 je

razvidno, da so bile višje koncentracije plesni v zraku določene v študentskem laboratoriju 5 in raziskovalnem laboratoriju 1, v hladilnici ter v tehnološkem prostoru, kjer je potekala fermentacija vina. Povišane koncentracije plesni lahko pripisujemo praktičnemu delu, ki se normalno izvaja v teh prostorih. Močno povišana koncentracija plesni v hladilnici je najverjetneje povezana z izvorom plesni, saj so bile kolonije plesni vidne na stenah. Številne predhodne študije so dokazale, da je vidna prisotnost kontaminacije prostorov s plesnimi povezana s povišano koncentracijo bioaerosolov (Taskinen in sod., 1999; Davis, 2001; Gorny, 2004). Prostor, v katerih se izvaja delo z organskim materialom, bi morali biti izdelani iz materialov, ki bi kar najbolj onemogočali razvoj mikrobnih populacij. Glede hranilnih potreb so plesni zelo nezahtevne in imajo veliko sposobnost prilagoditve različnim okoljskim razmeram. Neprimerni gradbeni materiali, ki omogočajo zadrževanje proste vode (Pasanen in sod., 1992), ali taki, ki omogočajo rast plesnim, če so prekriti s prašnimi delci (steklo, steklena volna, kovine, mavec) (Davis, 2001; Cruz, 2002), so eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na povišane koncentracije bioaerosolov v prostorih (Gorny, 2004).

Izmerjene povprečne koncentracije bakterij in plesni v zraku na fakulteti (bakterije 423 ± 842 cfu/m³, plesni 142 ± 374 cfu/m³) so višje, kot navajajo podatki iz literature (bakterije 88 cfu/m³, plesni 4 cfu/m³ (Li in Hou, 2003)).

Robertson (1997) kot drugo možnost ocene bioaerosola navaja, da je sprejemljiva koncentracija bioaerosola v prostoru ≤ 300 cfu/m³ v primerih, da so v bioaerosolu mikroorganizmi, ki niso patogeni in toksinogeni, in nobena vrsta mikroorganizmov, razen plesni rodu *Cladosporium*, ne presega koncentracije 50 cfu/m³. Poleg tega navaja še, da so potrebne dodatne preiskave, kadar je koncentracija večja od 300 cfu/m³.

Glavne plesni, identificirane v vzorcih zraka na fakulteti so prikazane v tabeli 2. Podatek za posamezen rod plesni pomeni delež le-tega rodu plesni glede na koncentracijo vseh plesni v prostoru. Najpogosteje smo v vzorcih zraka določili plesni rodov *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* in *Alternaria*, drugi, manj pogosto določeni rodovi so bili *Geotrichum*, *Mucor*, *Rhizopus* in *Chrysonillia*. V vseh prostorih so bile najpogosteje identificirane plesni rodu *Penicillium*, kar je skladno tudi s podatki iz literature (Bartlett in sod., 2004). Vzrok je najbrž v tem, da plesni rodu *Penicillium* sodijo med tako imenovane primarne kolonizatorje, glede na sposobnost začetka rasti na različnih materialih (Gorny, 2004). V dveh prostorih (študentski laboratorij 5 in hladilnica) je bila koncentracija teh plesni večja od 50 cfu/m³, kar lahko pomeni neustrezno kakovost zraka in povod za dodatne preiskave oziroma tolmačenje rezultatov (Robertson, 1997).

Določena prisotnost plesni rodov *Alternaria* in *Cladosporium*, tudi ni zanemarljiva, saj ti rodovi sodijo med najpomembnejše alergene med plesnimi zunanjega zraka (Asan in sod., 2004), medtem ko plesni rodov *Aspergillus* in *Penicillium* sodijo med pomembne alergene v zraku v prostorih (Fisher in Dott, 2003).

Tabela 2: Glavne plesni, identificirane v vzorcih zraka na fakulteti

Table 2: Main moulds identified in air samples at the faculty

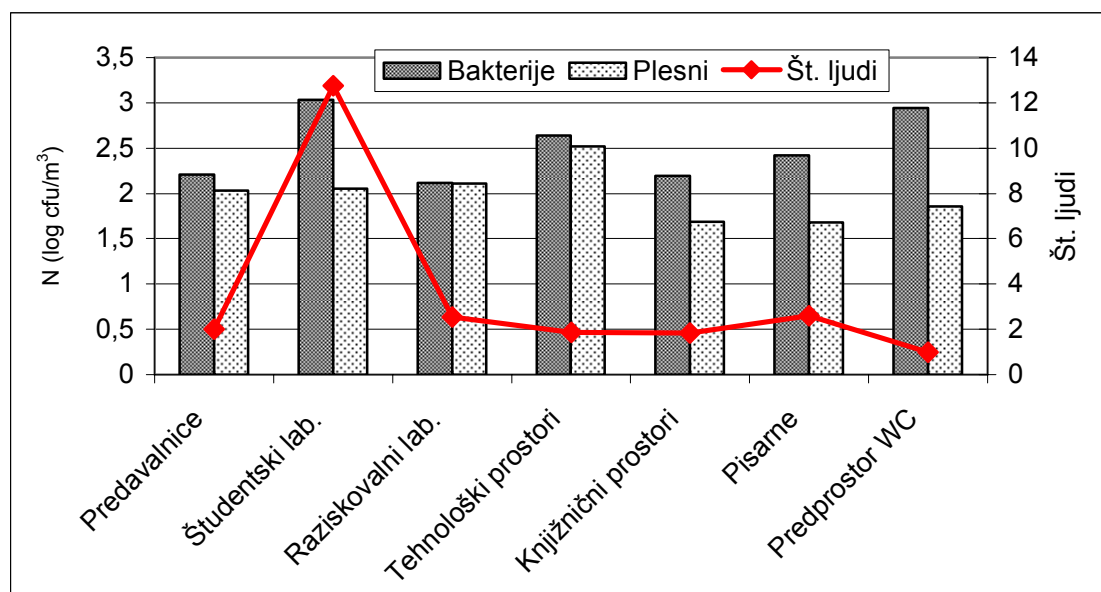
PROSTOR	N2 (cfu/m ³)	Plesni (%)			
		<i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Alternaria</i>
Predavalnica 1	131±171	17,55	/	6,91	/
Predavalnica 2	110±120	12,50	2,63	13,16	0,66
Predavalnica 3	88±77	15,29	/	7,64	1,91
Študentski laboratorij 1	85±37	19,35	6,45	32,26	/
Študentski laboratorij 2	33±15	20,00	20,00	20,00	/
Študentski laboratorij 3	85±3	10,00	6,67	30,00	6,67
Študentski laboratorij 4	68±52	18,52	7,41	14,81	3,70
Študentski laboratorij 5	153±195	74,36	1,92	5,77	1,28
Študentski laboratorij 6	102±2	37,50	/	/	12,50
Raziskovalni laboratorij 1	168±155	46,59	2,27	4,55	1,52
Raziskovalni laboratorij 2	69±52	90,00	/	5,00	/
Raziskovalni laboratorij 3	113±151	37,50	/	37,50	/
Raziskovalni laboratorij 4	47±3	11,76	11,76	23,53	23,53
Hodnik (hladilnica)	92±5	50,00	6,25	6,25	9,38
Hladilnica	1881±2401	39,94	3,07	/	/
Tehnologija mesa	19±2	33,33	/	/	/
Kisarna	127±45	29,17	/	4,17	25,00
Pekarna	60±16	69,23	7,69	7,69	15,38
Vinoteka	140±73	18,87	3,77	9,43	5,66
Fermentacija vina	263±248	15,28	2,78	/	5,56
Knjižnica	31±22	54,17	/	8,33	16,67
Indok	66±56	25,00	16,67	16,67	16,67
Čitalnica	49±41	/	6,67	6,67	/
Tajništvo	24±2	66,67	/	11,11	11,11
Kopirnica	63±11	47,62	/	33,33	4,76

Legenda: N2: povprečna koncentracija plesni; /: ni identificiran

Legend: N2: average concentration of moulds; /: not identified

V nobenem od prostorov nismo identificirali prisotnosti potencialno patogenih in toksikogenih gliv rodu *Fusarium* ali *Stachybotris*, katerih prisotnost je nesprejemljiva glede na določene standarde (Paracel Laboratories, 1998; Indoor air quality, 1995). Če se določi prisotnost plesni iz omenjenih dveh rodov plesni v koncentraciji večji od 50 cfu/m³, oziroma, če je katera od plesni omenjenih dveh rodov prisotna takrat, ko je skupna koncentracija plesni večja kot 500 cfu/m³, potem so potrebne dodatne preiskave.

Na sliki 1 so prikazane povprečne koncentracije bakterij in plesni po posameznih skupinah prostorov na fakulteti. Skupine prostorov smo grupirali glede na njihov glavni namen: predavalnice, študentski laboratoriji, raziskovalni laboratoriji, tehnološki prostori, knjižnični prostori, pisarne ter prostor pred stranišči. Ob vsaki skupini prostorov je prikazano tudi povprečno število ljudi, ki so bili v prostoru v času vzorčenja.



Slika 1: Povprečne koncentracije bakterij in plesni ter povprečno število ljudi v različnih skupinah prostorov na fakulteti

Figure 1: Average concentrations of bacteria and moulds and average numbers of people in different groups of indoor places at the faculty

Da bi določili možne povezave med koncentracijo bioaerosola in številom ljudi v prostoru, smo izračunali Pearsonove korelacijske koeficiente. Rezultati kažejo na statistično zelo visoko značilno povezavo med koncentracijo bakterij in številom ljudi v posameznem prostoru ($R^2 = 0,40$). Podobne zaključke navajajo tudi Pastuszaka in sod. (2000) ter Li in Hou (2003), saj njihovi rezultati kažejo na višje koncentracije bakterij v prostorih v povezavi s prisotnimi ljudmi in njihovimi aktivnostmi. Prisotnost ljudi je eden od pomembnih virov bioaerosola v zaprtih prostorih in zato so preiskave prostorov, v katerih se normalno zadržuje večje število ljudi, še toliko bolj pomembne (Li in Hou, 2003; Jo in Seo, 2005).

3.2 Koncentracije bioaerosola v zdravstvenem domu

Primerjalno smo mikrobiološke preiskave zraka opravili tudi v 8 različnih prostorih enega izmed slovenskih zdravstvenih domov. Povprečne koncentracije bakterij in plesni ter glavni identificirani rodovi plesni so prikazani v tabeli 3. Povprečna koncentracija bakterij je bila 405 ± 206 cfu/m³ in v petih prostorih (62,5 %) je bila koncentracija bakterij nižja od povprečne. Pri plesnih je bila povprečna koncentracija 73 ± 56 cfu/m³ in v petih prostorih je bila koncentracija plesni v zraku nižja od povprečne. Koncentracije bioaerosola v vseh prostorih so bile sicer večje od 300 cfu/m³, vendar so primerljive z ustreznimi prostori v bolnici, kjer so bile določene koncentracije bakterij med 1- 423 cfu/m³ in koncentracije plesni med 0-319 cfu/m³ (Li in Hou, 2003). Tako kot na fakulteti, so bile v vseh prostorih najpogosteje določene plesni rodu *Penicillium* in v dveh prostorih (rentgen in hodnik) so celo presegle koncentracijo 50 cfu/m³. Rentgen se nahaja v kletnih prostorih, kjer je oskrba s svežim zrakom vezana izključno na sistem HVAC, in visoka koncentracija plesni lahko kaže na neustrezen prezračevalni sistem v ustanovi (Gorny, 2004).

Tabela 3: Povprečne koncentracije bioaerosolov v različnih prostorih v zdravstvenem domu

Table 3: Average bioaerosols concentrations in different places in a health centre

Prostor (n)	Št. ljudi	N1 (cfu/m ³)	N2 (cfu/m ³)	Plesni (%)			
				<i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Alternaria</i>
Čakalnica (4)	6	583±142	61±32	20,41	2,04	12,24	2,04
Ambulanta (2)	3	408±138	48±46	31,58	15,79	10,53	15,79
Urinski laboratorij (2)	2	183±11	58±18	26,09	/	13,04	/
Biokemijski laboratorij (2)	2	210±14	40±7	35,29	/	29,41	/
Odvzem krvi (2)	5	590±78	120±0	12,50	/	47,92	/
Rentgen (2)	5	198±194	155±148	50,00	/	9,09	/
Izolirna soba (2)	1	345±92	55±14	31,82	/	13,64	/
Hodnik (2)	9	373±470	360±438	66,67	5,56	/	5,56
Povprečje	4,0	405±206	73±56				

Legenda: n: število vzorčenj zraka; N1: povprečna koncentracija bakterij; N2: povprečna koncentracija plesni, /: ni identificiran

Legend: n: number of air sampling; Št. ljudi: number of people present; N1: average concentration of bacteria; N2: average concentration of moulds, /: not identified

V zdravstvenem domu uporabljajo za vse prostore umeten način prezračevanja in temperiranja prostorov, kar naj bi zagotovilo ustrezno kakovost zraka in tudi nižje koncentracije mikroorganizmov, saj se zrak pri kroženju stalno filtrira in s tem čisti. Kalanova in Hollerova (2003) navajata za bolnišnične prostore s sistemom HVAC (bolniška soba, čakalnica za bolnike) povprečne koncentracije bakterij 10-55 cfu/m³ in povprečne koncentracije plesni 0-15 cfu/m³, kar je nižje od koncentracij bioaerosola v zdravstvenem domu, določenih v našem eksperimentu. Statistična primerjava koncentracij bakterij in plesni v zraku zdravstvenega doma in fakultete je pokazala, da se koncentracije med seboj statistično ne razlikujejo (bakterije P = 0,93; plesni P = 0,45). Ker je bilo v zdravstvenem domu vzorčeno manjše število vzorcev zraka, lahko ti rezultati pomenijo povod za nove raziskave, v katerih bi morali posebno pozornost posvetiti prezračevanju in proučevanju učinkovitosti delovanja sistema HVAC (Verhoeff in Burge, 1997).

4 SKLEPI

Splošna ocena bioaerosolov na fakulteti kaže na ustrezno kakovost zraka. Glede na koncentracijo bioaerosolov in prisotnost plesni sta bila kot neustrezna določena le dva prostora (študentski laboratorij, tehnološki prostor). Vzroki so lahko različni, saj se v teh prostorih izvaja delo z organskim materialom, normalno je prisotno večje število ljudi in/ali stalno je povišana relativna zračna vlaga. Mikrobiološke preiskave bioaerosolov v zdravstvenem domu so pokazale, da sta kot neustrezna lahko ocenjena dva delovna prostora (rentgen in hodnik). Statistično ni bilo razlik med povprečnimi koncentracijami bioaerosolov v obeh ustanovah. Glede na to, da v zdravstvenem domu uporabljajo sistem HVAC, ki vključuje tudi filtracijo zraka s filtri, ki zadržijo delce velikosti 5 µm in 1 µm, bi bile potrebne dodatne preiskave, ki bi služile oceni delovanja tega sistema.

Dobljeni rezultati kažejo na pomembnost izbire gradbenih materialov in materialov za notranjo opremo ter na veliko pomembnost pravilnega in rednega vzdrževanja notranjih prostorov in opreme. Vrednotenje in ocena bioaerosolov v delovnih prostorih pomeni tudi prispevek k tovrstnim raziskavam v slovenskem prostoru.

5 ZAHVALA

Za tehnično pomoč pri izvedbi eksperimentalnega dela se zahvaljujemo podjetju Merck d.o.o., Ljubljana in Merck KGaA, Darmstadt. Za statistično vrednotenje rezultatov se zahvaljujemo doc. dr. Lei Gašperlin.

6 VIRI

- Adhikari A., Sen M. M., Gupta-Bhattacharya S., Chanda S. 2004. Volumetric assessment of airborne fungi in two sections of rural indoor dairy cattle shed. *Environment International* 29: 1071-1078.
- American Thoracic Society, 1997. 1995. Achieving Healthy Indoor AIR. Report of the ATS Workshop: Santa Fe, New Mexico: 16-19.
- Asan A., Ilhan S., Sen B., Erkara I. P., Filik C., Cabuk A., Demirel R., Ture M., Okten S. S., Tokur S. 2004. Airborne fungi and Actinomycetes Concentrations in the Air of Eskisehir City (Turkey). *Indoor and Built Environment* 13: 63-74.
- Bartlett K. H., Kennedy S. M., Brauer M., van Netten C., Dill B. 2004. Evaluation and a Predictive Model of Airborne Fungal Concentrations in School Classrooms. *Annals of Occupational Hygiene* 48: 547-554.
- Braun-Fahrländer C. H., Gassner M., Grize L. 1999. Prevalence of hay fever and allergic sensitization in farmer's children and their peers living in the same rural community. *Clinical & Experimental Allergy* 29: 28-34.
- Braun-Fahrländer C. H., Riedler J., Herz U. 2002. Environmental exposure to endotoxin and its relation to asthma in school-age children. *The New England Journal of Medicine* 347: 869-877.
- Brown K. L. 2003. Control of airborne contamination. In: Lelieveld H. L. M., Mostert M. A., Holah J., White B. (Eds.): *Hygiene in Food Processing*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press, Cambridge: 106-121.
- Burge H. A., Rogers C. A. 2000. Outdoor allergens. *Environmental Health Perspectives* 108: 653-659.
- Buttner M. P., Cruz-Perez P., Stetzenbach L. D. 2001. Enhanced detection of surface-associated bacteria in indoor environments by quantitative PCR. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2564-2570.
- Castro F. F. 2004. Decreased respiratory symptoms after intervention in artificially ventilated offices in Sao Paulo, Brazil. *Chest* 125: 326-329.
- Crook B., Sherwood-Higham J. L. 1997. Sampling and assay of bioaerosols in the work environment. *Journal of Aerosol Science* 28: 417-426.
- Cruz P. 2002. Identification of airborne fungi. In: Bitton G. (Ed): *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, John Wiley & Sons, Inc., New York: 1647-1661.

- Davis P. J. 2001. Molds, toxic molds, and indoor air quality. California Research Bureau Note 8:1-16.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederik D. 2003. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Annual Occupational Hygiene* 47: 187-200.
- Fischer G., Dott W. 2003. Relevance of airborne fungi and their secondary metabolites for environmental, occupational and indoor hygiene. *Archives of Microbiology* 179: 75-82.
- Gorny R. L. 2004. Filamentous microorganisms and their fragments in indoor air – a review. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 11: 185 – 197.
- Graudenz G. S., Kalil J., Saldiva P. H. 2002. Upper respiratory symptoms associated with aging of the ventilation system in artificially offices in Sao Paulo, Brazil. *Chest* 122: 729-735.
- Graudenz G. S., Kalil J., Saldiva P. H., do Rosario M. D. O., Morato-Castro L. F. 2004. Decreased Respiratory Symptoms After Intervention in Artificially Ventilated Offices in Sao Paulo, Brazil. *Chest* 125: 326-329.
- Green C. F., Scarpino P. V., Gibbs S. G. 2003. Assessment and modeling of indoor fungal and bacterial bioaerosol concentrations. *Aerobiologia*, 19: 159-169.
- Griffiths W. D., DeCosemo G. A. L. 1994. The assessment of bioaerosols: A critical review. *Journal of Aerosol Science* 25: 1425-1458.
- Indoor air quality in office buildings: a technical guide. 1995. A report of the federal-provincial advisory committee on environmental and occupational health. 93-EHD-166, Ottawa: 1-57.
- Jo W. K., Seo Y. 2005. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere* 61: 1570-1579.
- Kalanova K., Hollerova J. 2003. Hospital Indoor Environment: Screening for microorganisms and particulate matter. *Indoor Built Environment* 12: 61-67.
- Li C. S., Hou P. A. 2003. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *The Science of the Total Environment* 305: 169-176.
- Madelin T. M. 1994. Fungal aerosols – a review. *Journal of Aerosol Science* 25: 1405-1412.
- Nesa D., Lortholary J., Bouakline A., Bordes M., Chandenier J., Derouin F., Gangneux J. P. 2001. Comparative performance of impactor air samplers for quantification of fungal contamination. *Journal of Hospital Infection*, 47: 149-155.
- Paracel Laboratories. 1998. Determination of fungal propagules in indoor air. Ottawa, ON: Canada Mortgage and Housing Corp.
- (7.2.2006, <http://www.cci-icc.gc.ca/headlines/mould>)
- Pasanen A. L., Juutinen T., Jantunen M. J., Kalliokoski P. 1992. Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials. *International Biodeterioration and Biodegradation* 30: 273-283.
- Pasquarella C., Pitzurra O., Savino A. 2000. The index of microbial air contamination. *Journal of Hospital Infection* 46: 241-256.
- Pastuszka J. S., Paw U. K. T., Danuta O. L., Wlazlo A., Ulfing K. 2000. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*, 34: 3833-3842.

- Robertson L. D. 1997. Monitoring viable fungal and bacterial bioaerosol concentrations to identify acceptable levels for common indoor environments. *Indoor Built Environment* 6: 295-300.
- Samson R. A., Hoekstra E. S., Frisvad J. C., Filtenborg O. 2000. Introduction to food-and airborne fungi. 6th edition. Utrecht, Centraalbureau voor Schimmelcultures: 1-389.
- Simeray J., Mandin D., Chaumont J. P. 1995. Variations in the distribution of fungal spores in the atmosphere of bakehouses. Impact on the study of allergies. *Grana* 34: 269-274.
- Simeray J., Mandin D., Chaumont J. P. 1997. An aeromycological study of sawmills: Effects of type of installation and timber on mycoflora and inhalation hazards for workers. *International Biodeterioration and Biodegradation* 40: 11-17.
- Stetzenbach L. D., Buttner M. P., Cruz P. 2004. Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Current Opinion in Biotechnology* 15: 170-174.
- Taskinen T., Hyvarinen A., Meklin T., Husman T., Nevalainen A., Korppi M. 1999. Asthma and respiratory infections in school children with special reference to moisture and mold problems in the school. *Acta Paediatrica* 88: 1373-1379.
- Verhoeff A. P., Burge H. A. 1997. Health risk assessment of fungi in home. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 78:544-556.
- Witschger O., Grinshpun S., Fauvel S., Basso G. 2004. Performance of personal inhalable aerosol samplers in very slowly moving air when facing the aerosol source. *Annals of Occupational Hygiene* 48: 351-368.