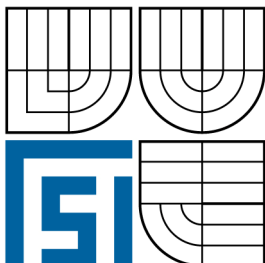


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

MIKROBIOLOGICKÁ RIZIKA V TECHNICE PROSTŘEDÍ

MICROBIOLOGICAL HAZARDS IN HVAC SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK MUSIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ANTONÍN KOLBÁBEK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Musil Zdeněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Mikrobiologická rizika v technice prostředí

v anglickém jazyce:

Microbiological hazards in HVAC systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Spolu s rozšiřováním zařízení pro úpravu stavu prostředí se množí i případy jejich negativního působení na lidský organismus, např. v důsledku nesprávné údržby, nedostatečné hygieny apod. Jsou známy případy, kdy se klimatizační a ventilační systémy staly zdrojem kontaminace prostředí mikroorganismy apod. Možná rizika je zapotřebí znát a počítat s nimi jak při návrhu, tak i provozu těchto zařízení.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte přehled možných mikrobiologických rizik v technice prostředí (houby, plísně, mikroorganismy apod.) spolu s příklady jejich výskytu. Uveďte, jaké podmínky napomáhají jejich rozšíření a jaké jsou naopak možnosti jejich eliminace (technická zařízení, organizační opatření, úprava parametrů prostředí apod.). Formulujte závěry a doporučení pro projekci a provoz příslušných zařízení techniky prostředí.

Seznam odborné literatury:

- Gebauer, G., Rubinová, O., Horká, H.: Vzduchotechnika. 2. vydání. ERA group, Brno, 2007.
Jokl, M.: Zdravé obytné a pracovní prostředí. 1. vydání. Academia, Praha, 2002.
Internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Kolbábek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 23.10.2009



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá rizikem ohrožení mikroby ze vzduchotechnických zařízení, především z klimatizačních zařízení. Uvedeny jsou základní informace ze souvisejících oborů. Samotná mikrobiologická rizika jsou rozdělena na zdravotní rizika a mikrobiální korozi. V poslední části práce jsou uvedeny možnosti eliminace mikrobiologických rizik a doporučení pro jejich předejití.

Abstract

This bachelor thesis deals with microbiological hazards in HVAC systems, especially in air condition systems. There is noted the basic information from related fields. The same microbiological hazards are divided in health risk and in microbiological corrosion. In the last part of this thesis are mentioned possibilities of their elimination and recommendation for prefiguring of them.

Klíčová slova

Technika prostředí, mikroklima, klimatizace, mikrob, mikroorganismus, biokoroze, optimalizace mikroklimatu.

Keywords

HVAC systems, microclimate, air condition, microbe, microorganism, biocorrosion, optimalization of microclimate.

Bibliografická citace

MUSIL, Z. *Mikrobiologická rizika v technice prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Antonín Kolbábek.

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Mikrobiologická rizika v technice prostředí vypracoval sám bez cizí pomoci. Potřebné informace jsem získal z odborné literatury uvedené v seznamu, z osobních znalostí a z odborných konzultací.

V Brně dne:.....

Podpis:.....

Poděkování

Tímto děkuji Ing. Antonínu Kolbábkov, vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné a metodické vedení, užitečné připomínky a doporučení k mojí práci a další cenné rady při zpracovávání práce.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Technika prostředí.....	10
2.1	Životní prostředí.....	10
2.1.1	Vnitřní prostředí.....	10
3	Kvalita vnitřního prostředí budov.....	11
3.1	Tepelně-vlhkostní mikroklima.....	11
3.2	Odérové mikroklima.....	12
3.3	Toxické mikroklima.....	13
3.4	Aerosolové mikroklima.....	13
3.5	Mikrobiální mikroklima.....	14
3.6	Ionizační mikroklima.....	14
3.7	Elektrostatické mikroklima.....	14
3.8	Elektroiontové mikroklima.....	14
3.9	Akustické mikroklima.....	15
3.10	Optimální mikroklima.....	15
3.10.1	Optimální mikrobiální mikroklima.....	16
3.11	Syndrom nemocných budov.....	17
3.12	Optimalizace složek mikroklimatu.....	18
4	Klimatizace.....	19
4.1	Tepelné výměníky.....	19
4.1.1	Rozdělení tepelných výměníků.....	20
4.1.2	Problematika zanášení tepelných výměníků.....	20
4.1.3	Využití výměníků tepla pro klimatizaci.....	21
4.2	Ventilátory.....	22
4.3	Filtry.....	22
5	Vlhký vzduch.....	23
5.1	Parametry vlhkého vzduchu.....	23
5.2	Stavy vlhkého vzduchu.....	23
5.3	Děje ve vlhkém vzduchu.....	24
5.4	Mollierův i-x diagram vlhkého vzduchu.....	24
6	Mikroorganismy a jejich vliv na zdraví člověka.....	25
6.1	Základní poznatky o mikroorganismech.....	25
6.2	Základní přehled mikroorganismů.....	26
6.2.1	Bakterie.....	26
6.2.2	Vláknité mikromycety (plísně).....	27
6.2.3	Viry.....	28

6.3 Zdroje mikroorganismů v interiéru a jejich přehled.....	29
6.3.1 Mikroorganismy z venkovního prostředí.....	30
6.3.2 Člověk jako zdroj mikroorganismů.....	31
6.3.3 Mikroorganismy ze vzduchotechnických zařízení.....	31
6.3.4 Mikroorganismy ze stavebních konstrukcí.....	34
7 Mikrobiální koroze.....	36
7.1 Proces biokoroze obecně.....	36
7.2 Biodeteriogeny částí staveb.....	37
7.2.1 Sírné bakterie.....	37
7.2.2 Desulfurikační bakterie.....	37
7.2.3 Nitrifikační bakterie.....	38
7.2.4 Denitrifikační bakterie.....	38
7.2.5 Silikátové bakterie.....	39
7.2.6 Mikromycety.....	39
7.3 Mikrobiální koroze materiálů.....	39
7.3.1 Mikrobiální koroze stavebního a dekoračního kamene.....	40
7.3.2 Mikrobiální koroze betonu.....	41
7.3.3 Mikrobiální koroze dřeva.....	42
7.3.4 Mikrobiální koroze kovů.....	42
7.3.5 Mikrobiální koroze polymerů.....	43
8 Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu.....	45
8.1 Základní principy bytové hygieny.....	45
8.2 Zásah do zdroje mikroorganismů.....	45
8.3 Zásah do pole přenosu.....	45
8.3.1 Omezení šíření mikrobů.....	45
8.3.2 Dezinfekce vzduchu a stavebních objektů.....	46
8.3.3 Sterilizace vzduchu.....	47
8.3.4 Úprava stěn	47
8.4 Zásah na subjektu.....	48
9 Závěr.....	49
10 Seznam použité literatury.....	51
11 Seznam použitých symbolů.....	53
12 Seznam obrázků.....	55
13 Seznam tabulek.....	56
14 Seznam příloh.....	57

1 Úvod

Mikroorganismy provázejí lidstvo od počátku dějin a přesto, že nejsou rozeznatelné okem, jsou prakticky všude, obklopují každého člověka, velmi výrazně ovlivňují jeho život a tím i celé lidstvo. Při podrobném zkoumání prapůvodců veškerých dějů zblízka lze zjistit, že to jsou právě mikroskopické částice, které ovlivňují veškeré dění okolo nás. Jedná se o zdravotní problémy, recyklaci odpadu, výrobu některých potravin a o mnoho dalších, pro člověka užitečných i nebezpečných, důsledků jejich působení. Mikroorganismy jsou velmi rozmanité, potřebují tedy pro svůj život a reprodukci různé podmínky, různé mikroby lze tedy nalézt v různých podnebných pásích.

Biologie, potažmo mikrobiologie, která se zabývá mikroorganismy, je neustále se rozvíjející obor. S většími technickými možnostmi rostou možnosti zkoumání a využívání mikroorganismů. Většina mikrobů je pro člověka a jeho život užitečná, často až nezbytná, tato studie se však zabývá mikrobiologickými riziky, tzn. mikroorganismy, které člověku mohou způsobit újmu na zdraví a majetku. V této práci jsou tato rizika pojata ze dvou pohledů; zdravotních rizik (kapitola 6) a rizika znehodnocování materiálu – mikrobiální koroze (kapitola 7). Kapitola 3.10 pojednává o optimálních mikrobiologických podmínkách, jakožto součásti vnitřních mikroklimatických podmínek, a v kapitole 9 je souhrn činností a možných opatření vhodných k zajištění správného mikrobiálního klimatu v interiéru.

Kapitola 2 pojednává o technice prostředí jako oboru a vymezením pojmů souvisejících s tématem této studie, na což navazuje kapitola 3, popisující hlavní složky mikroklimatu a hodnotící celkovou kvalitu vnitřního prostředí budov.

Kapitola 4 se zabývá klimatizací. Klimatizační zařízení ve vnitřním prostředí zajišťují komfort prostřednictvím různých úprav vzduchu. Tato zařízení zpříjemňují a mnohdy dokonce umožňují lidem pobyt v interiéru, nebo uskutečnění některých technologických operací, jejich nesprávným použitím ovšem riziko ohrožení mikroby vzrůstá. V této práci je popis klimatizace zprostředkován skrze hlavní součásti klimatizačních zařízení, kterými jsou tepelné výměníky, filtry a ventilátory. Tato zařízení také nejvýznamněji ovlivňují možné rozšiřování mikroorganismů v interiéru.

Prostředím, kterými se tato rizika nejčastěji šíří je vzduch, v technické praxi nazývaný jako vlhký vzduch. O vlhkém vzduchu se krátce zmiňuje kapitola 5.

Povědomí o hrozbě různých mikrobiologických rizik je pro moderního člověka stejně důležité jako možnosti předejití nebo následných protiopatření. Neméně důležité je také vytvoření uceleného přehledu o technice prostředí, jejích parametrech a technických prostředcích.

2 Technika prostředí

Technika prostředí je vědní obor, zaměřený na tvorbu a ochranu životního prostředí (vnějšího i vnitřního), především se jedná o technická zařízení pro úpravu stavu prostředí [1].

2.1 Životní prostředí

Podle [2] se pro životní prostředí používá definice: *„Životním prostředím člověka se rozumí ta část světa, s níž člověk přichází do styku, kterou přetváří a využívá pro uspokojování svých potřeb. Pozornost se soustřeďuje především na hmotnou část prostředí, která je dána prostorem, kde člověk bydlí, pracuje a odpočívá.“* Životní prostředí má dle [1] tři základní složky – přírodní, antropogenní a sociální. Tyto složky se objevují současně a vzájemně se prolínají.

Vztah člověka k prostředí je aktivní [2], znamená to, že se člověk a prostředí navzájem ovlivňují a jsou na sobě přímo závislí. Podle umístění se životní prostředí rozděluje na vnitřní a vnější. Vnitřní prostředí je životní prostředí v budovách, vnější mimo ně. Dále popisováno bude pouze prostředí vnitřní.

2.1.1 Vnitřní prostředí

Člověk tráví ve vnitřním prostředí 70-80 % svého života, nejčastěji je to vnitřní prostředí pracovní a obytné [2]. Technika prostředí v interiéru budov zahrnuje především technické prostředky pro zajištění požadovaného mikroklimatu v obytných budovách i v průmyslových stavbách a hodnocení stavu vnitřního prostředí.

Technickými prostředky, které ovlivňují stav vnitřního prostředí, jsou především větrací, vytápěcí a klimatizační zařízení. Rozvíjení znalostí techniky prostředí a technických možností s sebou přináší stále přísnější požadavky na kvalitu prostředí a na zařízení pro úpravu prostředí. Tento fakt je zaznamenán legislativně v zákonech a hygienických předpisech ČR, které musí být v souladu s obdobnými předpisy EU.

3 Kvalita vnitřního prostředí budov

Kvalita vnitřního prostředí, neboli mikroklimatu, je jedním ze základních parametrů staveb určených pro pobyt a práci člověka [3]. Celkové mikroklima vnitřního prostředí se skládá z několika složek, které jsou popsány fyzikálními a chemickými veličinami. Udržení těchto složek v definovaných mezích je důležité pro tvorbu zdravého prostředí. Pokud se některá složka ocitne mimo tyto definované meze, uživatelé takových budov pociťují příznaky tzv. syndromu nemocných budov (kap. 3.11).

3.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima

Tepelně-vlhkostní pohodu vnitřního prostředí tvoří teplo a vodní pára, které na člověka působí [4]. Zdrojem tepla a vlhkosti v interiéru jsou především venkovní klimatické podmínky. Hlavním zdrojem přímo v interiéru jsou převážně aktivity člověka. Teplo produkují aktivity jako vaření, pečení, smažení nebo žehlení, u kterých se příkon spotřebičů považuje za zdroj tepla. Zdrojem tepla jsou také lidská těla, výdej tepla závisí na počtu osob, nebo tělesné aktivitě, tento druh tepla se nazývá *metabolické teplo*. Aktivitami člověka, které výrazně ovlivňují vlhkost interiéru, jsou např. sprchování, vaření nebo sušení prádla, dalšími vlhkostními zdroji jsou dle [3] květiny nebo vodní plochy (např. bazény).

Pro udržení konstantní tělesné teploty, důležité pro pohodu člověka, je tepelná rovnováha mezi lidským organismem a okolím [4]. V příliš chladném prostředí může nastat *hypotermie* (podchlazení organismu), v příliš horkém prostředí naopak *hypertermie* (přehřátí organismu). Obě jsou poruchy tepelné rovnováhy. Důležitý je také rovnoměrný odvod tepla do okolí, což znamená, že ochlazování nohou nesmí být příliš rozdílné od ochlazování hlavy (teploty u nohou a hlavy by se neměly příliš lišit). Stav tepelné pohody se vyznačuje tepelnou rovnováhou organismu, pro člověka to znamená pocit spokojenosti s daným prostředím [1, 3]. Subjektivní hodnocení tohoto pocitu je vyjádřeno pomocí posuzovacích stupnic, např. stupnice PMV (viz tab. 3-1).

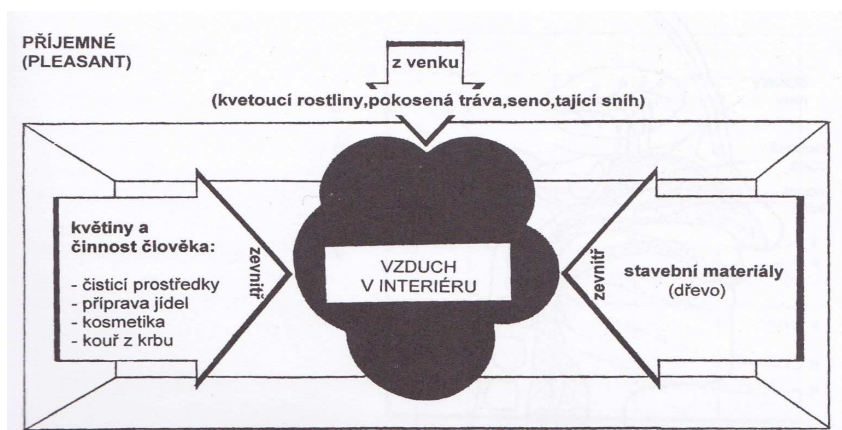
Tab. 3-1: Posuzovací stupnice teploty prostředí PMV; „podle [3]“.

Stupeň	3	2	1	0	-1	-2	-3
Tepelný pocit	Horko	Teplo	Mírně teplo	Neutrálně	Mírně chladno	Chladno	Zima

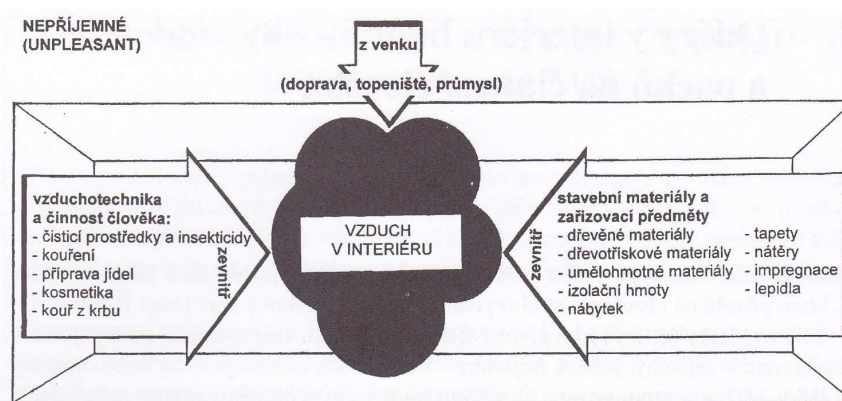
Významným kritériem pro hodnocení pocitu pohody je relativní vlhkost ϕ . Nevhodná relativní vlhkost má nepříznivý vliv na zdraví [4]. Nízká vlhkost vzduchu podporuje šíření choroboplodných mikroorganismů způsobujících nemoci z nachlazení nebo šíření prachu, který může způsobovat alergie. Naopak vysoká vlhkost vzduchu může napomoci šíření plísní a roztočů, to vyvolává u člověka různé zdravotní potíže. Navíc je vysoká vlhkost ve spojení s vysokou teplotou nepříjemná pro stav pohody, vyvolává pocit dusna.

3.2 Odérové mikroklima

Odérové látky, neboli odéry, jsou plynné látky, člověk je vnímá jako pachy (nepříjemné – zápachy, příjemné – vůně) [4]. Zápachy vstupují do interiéru prostřednictvím člověka (tělesné pachy, pachy kosmetických přípravků, zplodiny kouření, zápach odpadků nebo čisticích prostředků, apod.), ze vzduchotechnických zařízení, z nábytku a nátěrových hmot (např. parkety, laky, lepidla) nebo z venkovního prostředí (produkty spalovacích motorů, výrobních procesů). Podobně zdrojem vůní mohou být činnosti člověka (kosmetické přípravky, potraviny) nebo odéry z venkovního prostředí (posečená tráva, květiny) a dále květiny přímo v interiéru. Zdroje odérů jsou zobrazeny na obr. 3.1 a obr. 3.2. Každý člověk pociťuje určitý pach subjektivně, proto mohou být odéry považovány jak za vůně, tak i za zápachy. Většina odérů patří mezi komplex těkavých organických látek, tzv. TVOC (the Total of all Volatile Organic Compounds), tabákový kouř je v dnešní době zařazován do toxického mikroklimatu.



Obr. 3.1: Zdroje příjemných odérů v interiéru; „převzato z [4]”.



Obr. 3.2: Zdroje nepříjemných odérů v interiéru; „převzato z [4]”.

I přesto, že odéry přímo neohrožují zdraví člověka, mohou při určité koncentraci způsobit ztrátu soustředění, výkonnosti, chuti a ovlivňují celkovou náladu člověka. Při dlouhodobém působení se dostaví deprese, stavy úzkosti a chronické únavy [4]. Často také signalizují zvýšenou kontaminaci ovzduší mikroorganismy. V případě příjemných odérů je situace poněkud odlišná, protože vůně ovlivňují psychickou pohodu člověka pozitivně.

Úroveň oděrového mikroklimatu se stanovuje na základě koncentrace CO_2 a koncentrace TVOC. Produkce CO_2 je přímo úměrná tělesné aktivitě, sleduje se tedy hlavně v prostorách s velkým počtem lidí (přednáškové sály, kina, apod.). Pro různé podmínky existují různé limitní hodnoty CO_2 . Koncentrace TVOC se sleduje v případech, kdy nevyhovuje kritérium CO_2 . Zohledňují se tak další možné oděry ve vzduchu. Na vnímání TVOC jsou založeny systémy hodnocení s jednotkami olf, decipol a ppm. Pro progresivní systémy (ASHRAE Standard 62-1989R) jsou základními kritérii koncentrace CO_2 i TVOC.

3.3 Toxické mikroklima

Toxické plyny mohou být anorganické i organické látky. Do interiéru vstupují působením člověka nebo z venkovního prostředí [4]. Toxické mohou být i oděrové látky ve vyšších koncentracích. Nejčastějšími toxickými látkami jsou podle [4]:

- Oxid uhelnatý (CO): Je to produkt nedokonalého spalování, jeho zdrojem jsou zážehové motory a topeniště. Vyskytuje se také v cigaretovém kouři. Toxicky poškozuje buňky a váže se na hemoglobin, čímž omezuje přenos kyslíku. CO může způsobit i otravu.
- Oxidy síry (SO_2 , SO_3): Jsou produkty spalování pevných paliv s obsahem síry, s vodou tvoří kyseliny. Mají dráždivé účinky na organismus a mohou způsobit i těžké poškození plic.
- Oxidy dusíku (NO_x): Vznikají ve vznětových motorech, kotelnách, továrnách nebo elektrárnách. Snižují imunitu organismu a napomáhají vzniku rakoviny. Spolu s oxidy síry způsobují agresivní kyselé deště.
- Smog: Vzniká v důsledku znečištění vzduchu, je tvořen kouřem a mlhou škodlivin. Působením ultrafialového záření se rozkládá na další toxické látky (CO , ozon a další).
- Ozon (O_3): Váže se na oxidovatelné organické látky. Zdrojem ozonu mohou být i solária, laserové tiskárny nebo fotokopírovací stroje. Ozon dráždí oči a plicní membrány, způsobuje také jejich záněty. Ve vysokých koncentracích poškozuje plíce.
- Formaldehyd: Uvolňuje se ze stavebních konstrukcí a je přítomen v cigaretovém kouři. S dalšími toxickými látkami (toluen, benzen, atd.) patří mezi těkavé organické látky. Formaldehyd dráždí oční sliznice a horní cesty dýchací, snižuje imunitu organismu.
- Cigaretový a tabákový kouř: Dříve se řadil do oděrového mikroklimatu. Dlouhodobá inhalace vysokých koncentrací působí rakovinotvorně. Lidský organismus je ohrožen i pasivním kuřáctvím – ETS (Environmental Tobacco Smoke).

3.4 Aerosolové mikroklima

Je tvořeno pevnými a kapalnými aerosoly [4]. Pevný aerosol se nazývá prach, může být organického (pyl, prach z mouky, cukru, peří, chlupů, atd.) i anorganického (křemičitany, kovy, atd.) původu. Vážným zdravotním problémem jsou alergie způsobené alergeny (většinou organického původu). Působením zemské přitažlivosti se částice usazují (tzv. sedimentace), uplatňuje se také odpor vzduchu a elektrická polarita ploch v prostoru (částice jsou nositeli elektrického náboje). Kapalným aerosolem je mlha.

Prach bývá často nositelem mikrobů (viz 3.5) a může být také radioaktivní (viz 3.6).

3.5 Mikrobiální mikroklima

Mikrobi, kteří se nacházejí v ovzduší, nazýváme aeromikroby a velkou měrou působí na člověka a jeho zdravotní stav. Vytvářejí tak neoddělitelnou část prostředí, kterému říkáme mikrobiální mikroklima [4], (podle [5] kryptoklima). Mikrobiální (bioaerosolové) mikroklima nás zajímá především kvůli vlivu na zdraví člověka (alergie) a kvůli požadavkům některých pracovišť (nemocniční sály, potravinářské provozy) na vysokou čistotu ovzduší – tzv. clean rooms.

Nedostatky v mikrobiálním mikroklimatu mohou způsobit vážná zdravotní rizika pro množství lidí. Nejvíce ohroženy jsou nemocniční pracoviště a prostory s vysokou koncentrací lidí. V těchto prostorách se mohou snadno objevit patogenní mikroorganismy, které se prostředím dále šíří právě kvůli nedostatkům v mikroklimatu. Podle [4] známe případ kritické situace, kdy se klimatizačním zařízením šířila nákaza pravých neštovic takovým způsobem, že onemocnělo dalších 17 osob, z nichž 4 zemřeli. Kontaminace virem dosáhla takové úrovně, že pronikl i do neklimatizovaných prostor. Podobných případů najdeme v historii více. Podrobněji o mikroorganismech pojednávají kapitoly 6 a 7.

3.6 Ionizační mikroklima

Ionizační mikroklima souvisí především s výskytem radonu [3]. Radon vzniká rozpadem uranu, případně prací s některými diagnostickými přístroji (rentgen). Je to radioaktivní plyn bez barvy a zápachu, lidskými smysly je nezjistitelný. Spojuje se s aerosolem a vzniká tak radioaktivní aerosol. Radonové částice se rozpadají a vyzařují alfa a beta záření. Ve vysokých koncentracích může radon způsobit rakovinu.

3.7 Elektrostatické mikroklima

Podle [3]: „*Elektrostatický náboj se vytváří při vzájemném pohybu a oddělování částic s různou i stejnou dielektrickou konstantou.*” Nejčastějším projevem statické elektřiny je zvýšené usazování prachu na plochách s opačnou polaritou. Pokud elektrostatický náboj překročí minimální zápalnou energii, nastává výbuch. Ochranou proti statické elektřině je antistatická úprava povrchu a udržování správné vlhkosti prostředí.

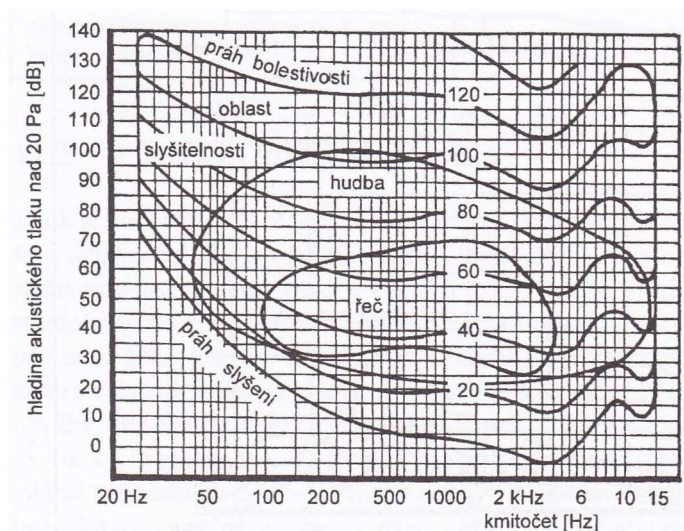
3.8 Elektroiontové mikroklima

Tuto složku mikroklimatu tvoří kladné a záporné ionty v ovzduší (aeroionty) [3]. Aeroionty vznikají z neutrálních molekul působením ionizační energie (elektrické pole, ionizující a UV záření, Lenardův efekt). Záporně nabitě aeroionty jsou lidským organismem vnímány pozitivně, ale některé materiály a činnosti (kouření) snižují jejich počet v interiéru.

3.9 Akustické mikroklima

Zvuk je po fyzikální stránce vlnění [4]. Zvukové vlny s harmonickým průběhem mohou být pro člověka příjemné. Zvuky, které negativně ovlivňují pohodu člověka označujeme jako hluk. Z venkovního prostředí vstupuje hluk do interiéru z dopravy, průmyslu, technických zařízení nebo činností dalších lidí, zdrojem zvuku přímo v interiéru je sám člověk (jeho činnost) a vibrující části mechanismů. Hluk může způsobit i proudící vzduch.

Úroveň hluku se posuzuje součtovou hladinou akustického tlaku, pro stanovení této úrovně se využívají tzv. váhové filtry A, B, C a D [4, 3]. Podle [4] působí na psychiku negativně hluk nad 30 dB, negativní vliv na vegetativní nervový systém má hluk vyšší než 65 dB, nad 85 dB je hluk nebezpečný pro sluchové orgány a při hluku nad 120 dB dochází k jejich trvalému poškození. Vnímání frekvencí zvuku lidským uchem je znázorněna na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Vnímání různých kmitočtů lidským sluchem; „převzato z [4]”.

3.10 Optimální mikroklima

Pro pocit pohody člověka v pracovním i obytném prostředí musí být výše uvedené složky vnitřního mikroklimatu ve správném rozmezí. V opačném případě se mohou u lidí v takovém prostředí vyskytnout příznaky syndromu nemocných budov – SBS (viz kap. 3.11). Parametry složek mikroklimatu se liší podle druhu místnosti a činností v nich provozovaných, tzn. jiné hodnoty jsou přípustné pro kancelářskou práci a jiné pro výkopové práce.

V případě tepelně-vlhkostní složky interiéru určujeme pro pracovní prostředí tzv. operativní teplotu t_o [°C], závislou na teplotě vzduchu t_a [°C], radiální teplotě t_r [°C] a rychlosti proudění vzduchu. V obytném prostředí se optimální teploty pohybují od 10 °C pro vytápěné schodiště po 24 °C pro koupelny. Relativní vlhkost φ se v pracovním prostředí může pohybovat v rozmezí 30-70 % [4]. Pro obývací pokoje, ložnice a kuchyně je optimální teplota 20 °C. Optimální relativní vlhkost vzduchu většiny obytných prostor je 60 %, výjimkou jsou koupelny, kde je optimální vlhkost 90 %.

Optimální hodnoty koncentrace CO_2 se pohybují pod 800 ppm (parts per milion tj. počet objemových jednotek v milionu objemových jednotek vzduchu), únosné okolo 1000 ppm, začátek toxického rozmezí se pohybuje okolo 5000 ppm, tyto hodnoty jsou ještě krátkodobě únosné [6]. Pro TVOC se hodnoty pohybují podobně.

V případě toxických látek by přípustné limity v interiéru neměly být o mnoho vyšší než v exteriéru a zároveň by měly být nižší než limity přípustné pro pracoviště [4]. Optimální koncentrace toxických plynů pro vnitřní prostředí budov jsou při dlouhodobém působení např. pro oxidy dusíku $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pro CO $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pro ozon $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a pro těkavé látky $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Podobně jako pro toxické látky jsou stanoveny limity aerosolů v interiéru málo odlišné od venkovního prostředí. Limity se blíže určují podle třídy čistoty místností pro částice o velikosti od $0,1 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$. V našich podmínkách je optimální dlouhodobá koncentrace prachu v ovzduší $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Přípustnou hodnotou koncentrace radonu v interiéru podle ASHRAE je $74 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (jednotka objemové aktivity, Bq=becquerel). Tato hodnota je celosvětově uznávaná a neměla by být překročena.

Pro elektrostatické mikroklima je maximální úroveň statické elektřiny podle českých předpisů $1 \text{ kV}/\text{m}$.

Minimální přípustný počet negativních iontů se pohybuje od 200 do 300 v cm^3 , optimální počet je pak od 1000 do 1500 negativních iontů v cm^3 .

Nejvýše přípustnou hodnotou akustického tlaku s váhovým filtrem A v pracovním prostředí pro osmihodinový interval je 85 dB (A). Podle druhu práce se tato hodnota koriguje, např. pro koncepční práce založené na tvořivém myšlení je nevyšší hodnotou akustického tlaku 45 dB. Pro obytné prostředí jsou maximálně přípustné hodnoty pro hluk zvenčí 49 dB (A) a hluk zevnitř 40 dB (A). Obě hodnoty se korigují podle podmínek (stavební úpravy v okolí), využití prostoru nebo denní doby.

3.10.1 Optimální mikrobiální mikroklima

Základním kritériem je zabránění kondenzace vodní páry na povrchu konstrukcí, tzn. teplota nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu. Tuto teplotu pro různé místnosti uvádí tabulka 3-2.

Dalším kritériem pro hodnocení mikrobiálního mikroklimatu je koncentrace mikrobů. V současné době je předepisována pro domácnosti a neprůmyslové prostředí. Úplné odstranění mikrobů ze vzduchu vytváří druh skleníkového efektu, což není pro lidský organismus žádoucí. Snaha o co nejdokonalejší sterilizaci vzduchu panuje jen ve speciálních případech (operační sály, výroby elektrotechnických zařízení). Kategorie znečištění vnitřního vzduchu bakteriemi a spory plísní podle EU jsou uvedeny v tabulkách 3-3 a 3-4.

Tab. 3-2: Výpočtová vnitřní teplota, relativní vlhkost vzduchu a teplota rosného bodu ve vytápěných místnostech; „podle [4]“.

Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota t [°C]	Relativní vlhkost vzduchu φ [%]	Teplota rosného bodu t_R [°C]
obývací místnosti (obývací pokoje, jídelny, ložnice, pracovny, apod.)	20	60	12,10
kuchyně	20	60	12,10
koupelny	24	90	22,25
vytápěné vedlejší místnosti (chodby apod.)	15	60	7,30
vytápěná schodiště	10	60	2,25

Tab. 3-3: Kategorie znečištění vnitřního ovzduší bakteriemi; „podle [4]“.

Kategorie znečištění	Objekt	
	Domácnost koncentrace na m ³	Neprůmyslové prostředí koncentrace na m ³
velmi nízké	<100	<50
nízké	<500	<100
střední	<2500	<500
vysoké	<10000	<2000
velmi vysoké	≥10000	≥2000

Tab. 3-4: Kategorie znečištění vnitřního ovzduší sporami plísní; „podle [4]“.

Kategorie znečištění	Objekt	
	Domácnost koncentrace na m ³	Neprůmyslové prostředí koncentrace na m ³
velmi nízké	<50	<25
nízké	<200	<100
střední	<1000	<500
vysoké	<10000	<2000
velmi vysoké	≥10000	≥2000

Riziko onemocnění spočívá více než na koncentraci mikrobů na jejich druhu [4]. Dělíme je na biologické činitele skupiny 1 až 4. U činitelů skupiny 1 se nepředpokládá vznik onemocnění, naopak činitelé skupiny 4 způsobují u člověka vážná onemocnění, přičemž není dostupná účinná profylaxe nebo léčba.

3.11 Syndrom nemocných budov

Špatné kryptoklima je jedním z typických znaků SBS (sick building syndrome – syndrom nemocných budov) [4]. Podle [7] je SBS soubor nespecifických potíží, které na člověka působí negativně a zhoršují jeho pohodu, nicméně v pracovním procesu nemusí být tak závažné, aby způsobily pracovní neschopnost. SBS se na člověku projevuje

únavou, malátností, alergickými reakcemi, bolestmi hlavy, poruchami spánku, nesoustředěností a zvýšeným rizikem nemocí (např. nemoci dýchacích cest).

Výzkum prokázal, že SBS se objevuje hlavně u nových nebo rekonstruovaných budov, vybavených klimatizací (až o 45 % vyšší riziko vzniku onemocnění) [4, 5, 7] a u budov s lehkým obvodovým pláštěm a nevhodným tepelně-vlhkostním mikroklimatem.

Nejdůležitějšími charakteristikami „nemocné budovy“ jsou faktory související s umístěním budovy, problémy související s provozem (sem patří např. nedostatečné odvětrávání, vysoká teplota, nevhodná vlhkost vzduchu apod.), problémy, které nesouvisí s budovou (kouření aj.) a faktor lidské psychologie.

Osoba, která je zodpovědná za nápravu, neboli „léčení nemocné budovy“, je povinna shromažďovat a analyzovat informace o SBS, a z výsledků takové analýzy sestavit návrh řešení [7]. Důležité je hlavně o jaké se jedná příznaky a jak často se objevují, zda jsou rozdílné v odlišných částech budovy, nebo zda přetrvávají i po opuštění budovy. K tomu musí být zohledněny např. poruchy větrání nebo znečištění ovzduší.

Kromě tepelně-vlhkostního a mikrobiálního mikroklimatu mají na zdraví a psychickou pohodu člověka v obytných prostorách vliv i ostatní složky celkového mikroklimatu.

3.12 Optimalizace složek mikroklimatu

Možnosti ovlivnění jednotlivých složek kryptoklimatu jsou podle [3] v zásadě tři:

- Zásah do zdroje: Zpravidla nejúčinnější metoda ovlivnění mikroklimatu, výhodná i z ekonomického hlediska. Ne vždy je však možná, případně kompletní. Pro tepelně-vlhkostní složku to znamená především úpravu obvodového pláště a zateplení, pro oděrovou např. použití rychleschnoucích barev, které uvolňují do prostředí méně pachů, apod.
- Zásah do prostředí: Princip této možnosti spočívá v instalaci klimatizačních zařízení a vytápění. Tato zařízení vyrovnávají tepelnou a vlhkostní bilanci interiéru a větráním snižují koncentrace škodlivin v ovzduší.
- Zásah na subjektu: Je to nejjednodušší způsob optimalizace, nicméně je uživatelsky nejméně komfortní. Spočívá v užití ochranných pomůcek, případně ve změně oděvu člověka. Např. pro dosažení tepelné pohody to znamená svléknutí nebo obléknutí oděvu a v případě ionizační složky použití speciálních oděvů.

Tato práce se bude podrobněji zabývat optimalizací mikrobiálního mikroklimatu v kapitole 8.

4 Klimatizace

Klimatizací rozumíme úpravu vzduchu v daném prostředí (jednotlivé místnosti, budovy, letadla, auta, aj.) na požadované parametry, kterými jsou teplota, vlhkost a čistota [3]. Tyto úpravy zajišťují klimatizační zařízení (KZ).

Klimatizační zařízení zajišťuje veškeré úpravy vzduchu, t.j. ohřev, chlazení, zvlhčování, odvlhčování, filtraci a výměnu vzduchu. Zařízení, která provádí jen některé úpravy vzduchu se nazývají dílčí klimatizace.

Podle účelu se rozlišují KZ komfortní a technologické. Komfortní KZ slouží k tvorbě správného mikroklimatu pracovního a obytného prostředí osob, technologická vytváří vhodné prostředí technologických procesů.

Nezbytnými technologickými prvky pro funkci KZ jsou tepelné výměníky, které plní především funkci výparníku, kondenzátoru, ohřívače a chladiče [8]. Dalšími prvky jsou kompresor, škrticí příp. expanzní ventil, ventilátory nebo filtry. Soubor těchto technologických prvků se nazývá klimatizační systém.

Přenos tepla mezi prvky klimatizace zajišťuje teplotonosná látka neboli médium [8].

Se zvyšujícími požadavky na stav prostředí rostou i nároky na klimatizační zařízení a klimatizační systémy. Ty se používají ve většině občanských budov (úřady, hotely, restaurace apod.). V některých budovách je klimatizace dokonce nezbytná (např. budovy bez oken) [3]. Pro správnou funkci klimatizace je tedy důležitý návrh, který se opírá např. o požadavky na stav mikroklimatu, stavební konstrukce budovy, provozní režim budovy nebo ekonomické faktory.

Klimatizační a vůbec veškerá vzduchotechnická zařízení jsou tvořena několika konstrukčními prvky, které zajišťují potřebné úpravy vzduchu, viz dále.

4.1 Tepelné výměníky

Tepelným výměníkem se rozumí konstrukční prvek, který slouží k výměně energie (v podobě tepla) mezi médii s různými parametry [9, 10]. Mezi médii musí existovat teplotní rozdíl, potom podle druhé věty termodynamiky teplo přechází z prostředí o teplotě vyšší do prostředí o teplotě nižší.

Tepelný výměník je jako prvek charakterizován řadou parametrů, z nichž nejdůležitějším je plocha, přes kterou se obě média setkávají a součinitel prostupu tepla k (z rovnice pro tepelný výkon předávaný výměníku). Dalšími důležitými parametry jsou závislost tlakových ztrát na průtoku média, teplotní spád, hmotnostní průtok, co nejvyšší spolehlivost a co nejmenší rozměry, hmotnost a cena.

- Tepelný výkon předávaný výměníku:

$$Q = k \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \text{ [W]} \quad (1)$$

4.1.1 Rozdělení tepelných výměníků

Tepelné výměníky mohou být rozděleny podle pracovního pochodu na tři základní typy:

- **Rekuperační:** Prostředí s oběma médii (ohřívajícím i ohřívaným) jsou odděleny nepropustnou stěnou o určité tloušťce a ploše. Výhodou rekuperátorů je schopnost provozu při větších tlakových rozdílech mezi ohřívajícím a ohřívaným médiem.
- **Regenerační:** U tohoto typu výměníku je teplosměnná plocha střídavě obtékána nejprve ohřívajícím a následně ohřívaným médiem. Výhodou regenerátorů je ucelená konstrukce, naopak nevýhodou je složitost konstrukce a nemožnost provozu při větších tlakových spádech.
- **Směšovací:** Ohřívající a ohřívané médium se u směšovacích výměníků přímo stýkají a vytvářejí směs. Výhodou je jednoduchost, naproti tomu nejsou směšovací výměníky vhodné pro široké použití.

Tepelné výměníky se dále rozdělují podle toku média na souprroudé, protiproudé, křížové, šikmé a kombinované [9].

Dalšími kritérii pro dělení tepelných výměníků je konstrukční řešení teplosměnné plochy (deskový, trubkový, žebrový aj.) a použití tepelných výměníků, z nichž nás zajímají nejvíce kondenzátory a výparníky, u kterých při změně teploty dochází ke změně fáze média.

4.1.2 Problematika zanášení tepelných výměníků

Pod pojmem zanášení tepelného výměníku si lze přestavit nežádoucí proces, při kterém se na stěnách výměníku usazují nečistoty. Tento proces má za následek snížení výkonu tohoto výměníku a probíhá u všech typů tepelných výměníků.

Podle [11] jsou uvedeny druhy zanášení tepelných výměníků, ke každému je uveden i způsob řešení:

- **Naplavování:** Nečistoty z pracovní látky přilnou ke stěně výměníku, tím vytvoří novou vrstvu povrchu, na který se pak snáze usazují další nečistoty. Naplaveniny se odstraňují mechanickým čištěním, v případech, kdy toto nelze použít, se naplaveniny odstraňují zvýšením rychlosti proudění média a zachytáváním nečistot do filtrů.
- **Biologické zanášení:** Označujeme takto usazování a následný růst mikroorganismů, především bakterií, kterým vyhovuje prostředí tepelného výměníku. Mikroorganismy zanáší výměník svými těly, případně ohrožují správnou funkci výměníku prostřednictvím látek, které vylučují. Biologické usazeniny ve výměníku se odstraňují různými chemickými látkami – pesticidy.
- **Zanášení krystalizační a precipitační:** Tento druh zanášení se vyznačuje usazováním částic, které se vylučují přímo z média (např. minerální látky z vody). Tomuto zanášení se dá předejít přidáním správné chemické látky do média, která zabrání vylučování krystalků a precipitátů, následné odstraňování je daleko obtížnější.
- **Zanášení v důsledku chemické reakce:** Látky obsažené v médiu spolu reagují na stěně výměníku. Materiál stěny výměníku se této reakce nezúčastňuje. Četnost chemických reakcí ve výměníku závisí na teplotě proudící látky, proto je nutné tuto skutečnost zahrnout už do návrhu. Následné odstranění se provádí mechanicky nebo chemicky.

- Korozní zanášení: Je to zvláštní druh zanášení v důsledku chemické reakce (např. látky produkované mikroorganismy s materiálem stěny). Korozní vrstva snižuje výkon výměníku a odlupující se rez dále zanáší výměník (viz Naplavování). V mezním případě může koroze způsobit oslabení až proděravění stěny výměníku. Koroze se uvažuje již při návrhu výměníku, materiál musí být s ohledem na médium korozivzdorný. Vzniklý proces koroze zpomalíme změnou pracovní látky nebo přidáním inhibitoru.
- Zanášení v důsledku mrazu: Je to nejsnáze odstranitelný typ zanášení. Vzniká u chladicích zařízení, kde pracovní látka může zmrznout, při snížení teploty pod 0 °C. Pro odstranění stačí zvýšit teplotu média.

Zanášení musíme obecně zohledňovat už při navrhování výměníku a při provozu je téměř jisté, že některý z uvedených typů procesu zanášení nastane. Proto je pro správnou funkci výměníku důležitá pravidelná údržba.

4.1.3 Využití výměníků tepla pro klimatizaci

Tepelné výměníky jsou pro vzduchotechnická zařízení stěžejní součástí. Využíváme je k ohřevu, mokrému i suchému chlazení, polytropickému i adiabatickému vlhčení, sušení vzduchu a pro zpětné získávání tepla (ZZT) [3].

- Ohřívače a chladiče: Tepelné výměníky v této funkci slouží k tepelné úpravě vzduchu. Nejčastěji se používají lamelové výměníky v protiproudém zapojení (pro vyšší výkon). Z hlediska teplotnosné látky jsou pro ohřev nejběžnější teplovodní, parní (pouze v průmyslu), elektrické (spíše jako dohřívače) a plynové ohřívače (výměníky typu vzduch-spaliny, v průmyslu mohou být využity i pro přímý ohřev bez výměníku). Pro chlazení potom vodní chladič (někdy nutná nemrznoucí směs) a přímé výparníky. U výměníků, u kterých dochází ke kondenzaci, musí být zajištěn odvod kondenzátu, nejlépe přímo do kanalizace.
- Zvlhčovače a pračky: Slouží ke zvlhčování vzduchu z hygienických a technologických důvodů. Vzduch se zvlhčuje přímo v místnosti s upravovaným vzduchem nebo ve zvlhčovacích komorách. Nejčastěji užívané podle [3] jsou sprchové, hybridní a náplňové pračky, zvlhčovače s rotujícím kotoučem, pneumatické, parní a ultrazvukové zvlhčovače. Sprchová pračka rozprašuje do vzduchu vodu, která cirkuluje ve zvlhčovací komoře, hybridní pračka pracuje pouze s čistou vodou (necirkuluje) a vytváří velmi jemnou vodní mlhu. Náplňová pračka pracuje s náplní, která je kropena vodou, ta se následně odpařuje. Zvlhčovač s rotujícím kotoučem využívá odstředivé síly, voda je přiváděna na kotouč, který ji rozstříkuje na malé kapky, ty se rychle odpařují. Pneumatický zvlhčovač využívá tlakového rozprášení kapének, ultrazvukový tvoří z vody mikroskopickou mlhu vysokofrekvenčním vlněním. Parní zvlhčovač je nejvhodnějším typem zvlhčovače v komfortních klimatizacích, díky dobré regulovatelnosti a hygienickému provozu.
- Odvhlčovače: Odvhlčování může být kondenzační, absorpční a adsorpční. U kondenzačních odvlhčovačů se využívá srážení vodní páry na povrchu výparníku nebo chladiče. Adsorpce je fyzikální vazba, kdy jsou molekuly vody zachycovány na povrchu adsorbentu, kde jsou vázány bez změny chemické podstaty materiálu adsorbentu. Pro adsorpční odvlhčování se používají rotační výměníky s voštinovou strukturou. Absorpce je chemická vazba, kdy voda vytvoří s absorbentem roztok.

- Zařízení pro ZZT: Tato zařízení přečerpávají teplo z odpadního do přiváděného vzduchu, slouží především k ekonomické úspoře. Funkci ZZT plní deskové nebo rotační výměníky, tepelné trubice a lamelové výměníky s kapalinovým okruhem.

4.2 Ventilátory

Ventilátory jsou lopatkové stroje, které pomocí rotačního pohybu lopatek dopravují vzduch v KZ potrubím. Energii ventilátoru dodává motor (pohon na přímo, na spojku nebo s převodem). Podle tlaku vzduchu dělíme ventilátory na nízko-, stredo- a vysokotlaké, podle směru toku vzduchu na radiální, axiální, diagonální a diametrální. Základním požadavkem na ventilátor je množství dopravovaného vzduchu, dále se posuzuje hlučnost, velikost, vibrace, pevnost a celková účinnost.

Ventilátory zajišťují výměnu vzduchu v klimatizované místnosti (ventilaci, nucené větrání), čerstvý vzduch proudí přes KZ do místnosti a odpadní z místnosti ven.

4.3 Filtry

Jsou to součásti KZ, které zajišťují potřebnou čistotu vzduchu a ochranu strojního zařízení (výměníků). Filtry zbavují vzduch prachu, alergenů, ale i některých pachů. Dříve se v KZ používali jednoduché textilní nebo plastové filtry, které zachycovaly pevný aerosol o velikosti alespoň 10 μm . V dnešní době jsou KZ vybaveny vícevrstevnými filtry, které zbavují vzduch nejen pevného aerosolu, ale také roztočů, bakterií a dalších částic menších než 1 μm [3, 8]. Vrstvy tvoří např. elektrostatické nebo uhlíkové filtry, mikroorganismy ze vzduchu odstraňují biofiltry. K zachycení patogenních zárodků slouží polarizační filtr s germicidním zářičem pod napětím až 6000 V. Filtry se dělí na hrubé (G), jemné (F), HEPA (H) a ULPA (U).

Kromě výše uvedených prvků jsou součástí KZ vzduchovody a jejich součásti, koncové prvky v exteriéru i v interiéru, distribuční prvky, tlumiče hluku a chvění a regulační orgány. Těmito prvky se tato práce nezabývá.

5 Vlhký vzduch

Pro ucelený přehled mikrobiologických rizik v technice prostředí (především v klimatizačních zařízeních) je důležité zmínit se o prostředí, jímž se mohou tato rizika šířit. Tímto prostředím je většinou vzduch. Vzduch je definován jako směs plynů (nejvíce je zastoupený kyslík a dusík), které tvoří atmosféru. Vlhký vzduch je směs suchého vzduchu (viz 3.2) a vody ve všech skupenstvích.

5.1 Parametry vlhkého vzduchu

Vlhký vzduch definujeme podle [12], kromě stavových veličin (T , p , v), několika základními veličinami, kterými popisujeme děje ve vlhkém vzduchu:

- Absolutní vlhkost: Je definována jako poměr hmotnosti vody (v různých skupenstvích) k objemu vlhkého vzduchu.

$$\phi = \frac{m_p}{V} \left[\frac{\text{kg}_w}{\text{m}^3} \right] \quad (2)$$

- Relativní vlhkost: Udává míru nasycení vzduchu, pokud je rovna 1, vzduch je nasycen a nemůže docházet k pohlcování další vlhkosti.

$$\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_p'''} \cdot 100 = \frac{p_p}{p_p'''} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

- Měrná vlhkost: Udává hmotnost vody na 1 kg suchého vzduchu.

$$x = \frac{m_p}{m_{sv}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p'''}{p_b - \varphi \cdot p'''} \left[\frac{\text{kg}_w}{\text{kg}_{sv}}, \frac{g_w}{g_{sv}} \right] \quad (4)$$

- Entalpie: Vztahuje se na 1 kg suchého vzduchu (kg_{sv}). Pro nenasyčený a nasycený vlhký vzduch platí vztah:

$$i = 1,01 \cdot t + x_p \cdot (2500 + 1,84 \cdot t) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{sv}} \right] \quad (5)$$

- Teplota rosného bodu: Je to teplota, při které je vzduch již nasycen a při dalším ochlazení nastává kondenzace. Značíme ji t_R a měříme ve stupních Celsia ($^{\circ}\text{C}$).
- Teplota mokrého teploměru: Je to teplota, kterou nám ukáže teploměr obalený vlhkou látkou obtékaný proudem vzduchu (psychrometr). Značíme ji t_M .

5.2 Stavy vlhkého vzduchu

Podle množství vody ve vlhkém vzduchu rozlišujeme čtyři základní stavy vzduchu:

- Suchý vzduch: Je to vzduch s nulovým obsahem vody.
- Nenasycený vlhký vzduch: Je to směs suchého vzduchu a přehřáté vodní páry.

- Nasycený vlhký vzduch: Pára obsažená ve vlhkém vzduchu je sytá, tzn. $\varphi = 1$.
- Přesycený vlhký vzduch: Kromě suchého vzduchu a syté vodní páry obsahuje i zkondenzovanou vodu ve formě mlhy nebo tuhou fázi ve formě sněhu či ledu.

5.3 Děje ve vlhkém vzduchu

Děje vlhkého vzduchu jsou takové, při nichž se nemění celkový tlak p . Jsou to především ohřev, ochlazování, míšení a vlhčení.

- Ohřev: Je to nárůst teploty za konstantní měrné vlhkosti x .
- Ochlazování: Je to pokles teploty.
 - Bez kondenzace*: Konečná teplota je vyšší než teplota rosného bodu t_R . Nedochozí tedy ke kondenzaci a mluví se o tzv. suchém chlazení.
 - S kondenzací*: Konečná teplota leží pod křivkou $\varphi = 1$, je tedy nižší než teplota rosného bodu t_R a dochází ke kondenzaci vodní páry. Označuje se jako mokré chlazení.
- Míšení: Tento děj chápeme jako smíchání dvou nebo více proudů vlhkého nebo suchého vzduchu o různé teplotě t a měrné vlhkosti x . Výsledné vlastnosti směsi nalezneme v Mollierově diagramu (viz 5.4) na spojnici počátečních stavů obou proudů – tzv. směšovací úsečka.
- Vlhčení: Můžeme jej považovat za speciální případ míšení vlhkého vzduchu, kdy se vlhký vzduch mísí s vlhkostí v podobě vody nebo vodní páry. Vlhčení může být polytropické nebo adiabatické.

Všechny úpravy vlhkého vzduchu můžeme snadno zaznačit do Molliera i-x diagramu.

5.4 Mollierův i-x diagram vlhkého vzduchu

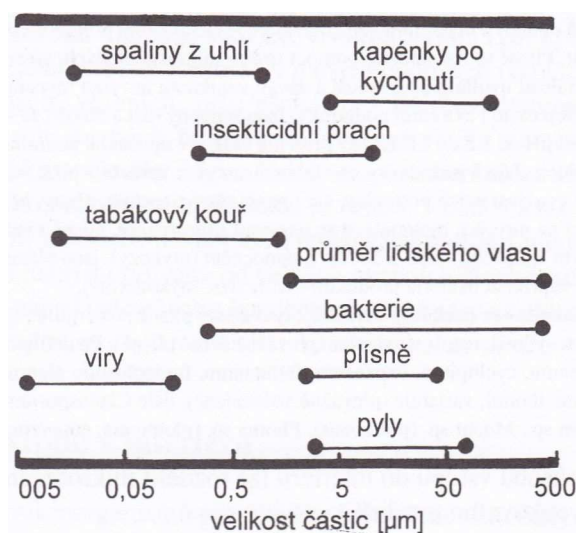
Pro větší přehlednost a menší náročnost na představivost a matematický aparát při výpočtu parametrů vlhkého vzduchu využíváme tzv. Mollierův i-x diagram [12]. Diagram je pojmenován po svém konstruktérovi Richardu Mollierovi. Na vodorovné ose diagramu je vyznačena měrná vlhkost x (3) a na ose svislé teplota t . Další důležité parametry vlhkého vzduchu, které v grafu nalezneme, jsou křivky s konstantní relativní vlhkostí φ (2) a přímky s konstantní entalpií i (4), tzv. izoentalpy. Mollierův diagram je přiložen v příloze.

6 Mikroorganismy a jejich vliv na zdraví člověka

Mikroorganismy se vyskytují v každém prostředí na světě. Obklopují nás a přestože je nevidíme, setkáváme se s nimi a s jejich účinky celý život. V této kapitole je uveden přehled nejběžnějších mikroorganismů v prostředí (vzduchotechnická zařízení, vlhký vzduch obytných prostor), jejich vliv na zdravotní stránku člověka a možnosti eliminace těchto rizik.

6.1 Základní poznatky o mikroorganismech

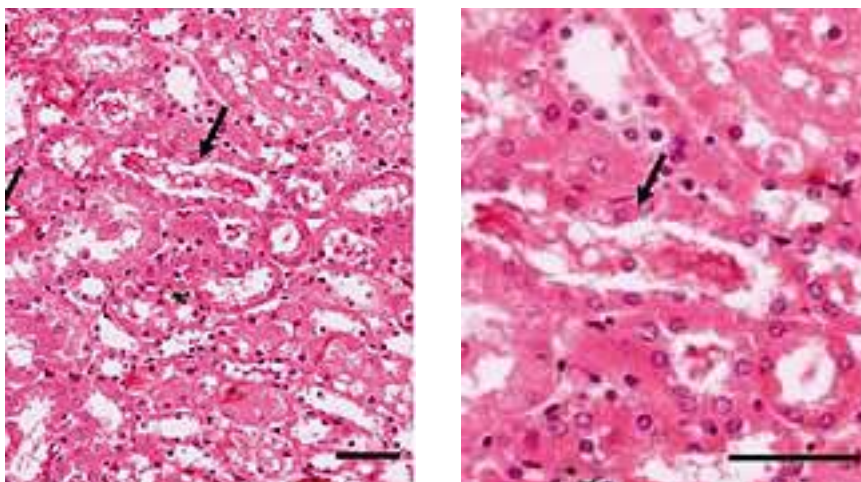
Mikroorganismus, nazývaný také mikrob nebo nověji bioaerosol, je mikrobiologický buněčný nebo nebuněčný objekt, který se může replikovat nebo přenášet svůj genetický materiál, a který lze pozorovat pouze mikroskopicky, případně elektromikroskopicky. Velikost mikrobů se pohybuje od 0,1 do 100 μm [4, 13]. Pro porovnání velikosti mikrobů s jinými mikroskopickými částicemi je uveden obrázek 6.1.



Obr. 6.1: Porovnání velikosti bakterií a virů s jinými mikroskopickými částicemi; „převzato z [4]”.

K mikrobům patří zejména bakterie, viry, plísňe, plísňové spory a produkty metabolismu mikrobů; exotoxiny (příklad streptokokového exotoxinu na obr. 6.2), endotoxiny a mykotoxiny. Dále můžeme k mikroorganismům zahrnout kvasinky, některé řasy a prvoky.

Mikroorganismy vytvářejí toxiny (jedy), které mohou být člověku nebezpečné. Jsou to mykotoxiny, endotoxiny a exotoxiny. Exotoxiny jsou mikroby vylučovány během jejich života, naproti tomu endotoxiny se uvolňují hlavně při rozpadu buňky a jsou spojovány výlučně s bakteriemi (viz 6.2.1). Mykotoxiny jsou záležitostí vláknitých mikromycet (viz 6.2.2).



Obr. 6.2: Streptokokové exotoxiny; „převzato z [16]”.

Mikroby tvoří společné útvary (kolonie nebo shluky), s jinými organismy mohou vytvořit oběma stranám prospěšná symbiotická společenství. Struktura mikrobů může obsahovat endoparazity a buněčné kultury, které mohou u člověka vyvolat projevy alergické nebo toxické, případně infekční onemocnění. Studium mikroorganismů se zabývá mikrobiologie, ta má velké množství podoborů. Mikroby, kteří mohou u člověka vyvolat nějaké onemocnění, se zabývá lékařská mikrobiologie. Tyto mikroby se nazývají patogeny.

Někteří mikrobi jsou velmi důležití v průmyslových procesech. Využívají se např. v potravinářském průmyslu, při výrobě bioplynu nebo při zpracování odpadů. Využíváním mikroorganismů se nejčastěji zabývá biotechnologie.

6.2 Základní přehled mikroorganismů

6.2.1 Bakterie

Jsou to mikroskopické organismy velikosti nejčastěji 1 až 3 μm , najdeme ovšem bakterie různých velikostí. Jsou považovány za nejmenší jednobuněčné organismy, které mají jednoduchou strukturu [17, 13]. Bakterie jsou často bezjaderné. V přírodě jsou bakterie, podobně jako mikromycety (viz 6.2.2), důležitými rozkladači a napomáhají tak správnému koloběhu látek.

Bakterie se rozmnožují nepohlavně, nejčastější metodou je dělení. Při dělení se mateřská buňka prodlouží na dvojnásobek své délky a replikuje svou DNA. Následně se vytvoří buňka sesterská. Jinou metodou nepohlavního rozmnožování bakterií je tvorba spor neboli sporulace. Spory jsou zvláštní, velmi odolné buňky, sloužící k dlouhodobému přežití za nepříznivých podmínek, jako jsou var, radiace, dezinfekce prostředí apod. Bakterie při svém rozpadu produkuje látku zvanou endotoxin. Ten působí na člověka jako jed a může způsobit i jeho smrt.

Bakterie se dělí podle různých hledisek, v našem případě z hlediska morfologických znaků:

- Kuličkové tvary: Většinou nesporulují, říkáme jim také koky, patří mezi ně např. rody *Streptococcus* (tvar řetězce), *Stafylococcus* (trsy) nebo *Micrococcus*.

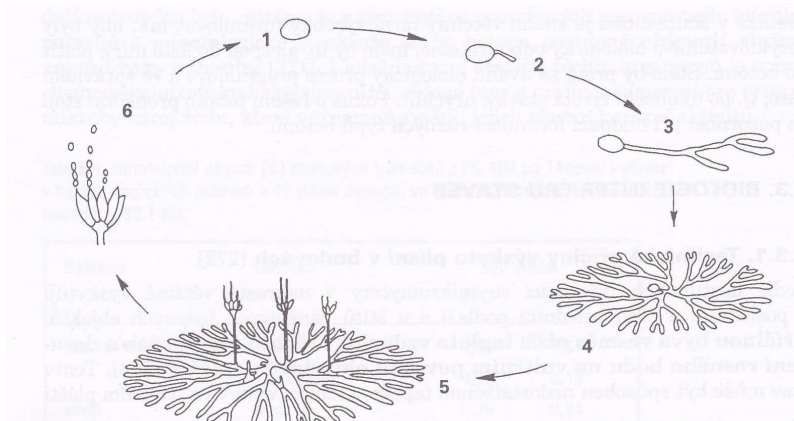
- Tyčinkovité tvary: Buňky mohou být pohyblivé i nepohyblivé, objevují se v párech nebo řetězcích. Tento tvar je typický pro sporulující rod *Bacillus* a nesporelující rod *Bacterium*.
- Rohlíčkovité nebo spirální tvary: Patří mezi ně rod *Vibrio*, tvořící rohlíčky nebo rod *Spirochaeta*, který tvořící spirální tvary.

Bakterie mohou tvořit mnoho dalších tvarů, výše uvedené jsou ty nejběžnější.

6.2.2 Vlákňité mikromycety (plísňe)

Mikromycety patří mezi nižší houby. Jsou to jedno nebo vícebuněčné organismy. Jednobuněčné organismy se nazývají kvasinky [17, 18]. Jako bakterie i plísňe plní v ekosystému funkci rozkladačů. Vyznačují se velkou přizpůsobivostí, proto je můžeme nalézt všude, kde se vyskytuje organická hmota.

Plísňe se rozmnožují nepohlavně, nejčastěji sporulací. Jejich životní cyklus je zobrazen na obrázku 6.3.



Obr. 6.3: Životní cyklus mikromycet na vlhkém zdivu. Spora (1) naklíčí (2), vytvoří hyfu (3), která se rozroste v mycelium (4). Na něm se vytvoří pohlavní orgány (5), ze kterých se uvolní spory (6) a celý proces se opakuje; „převzato z [5]”.

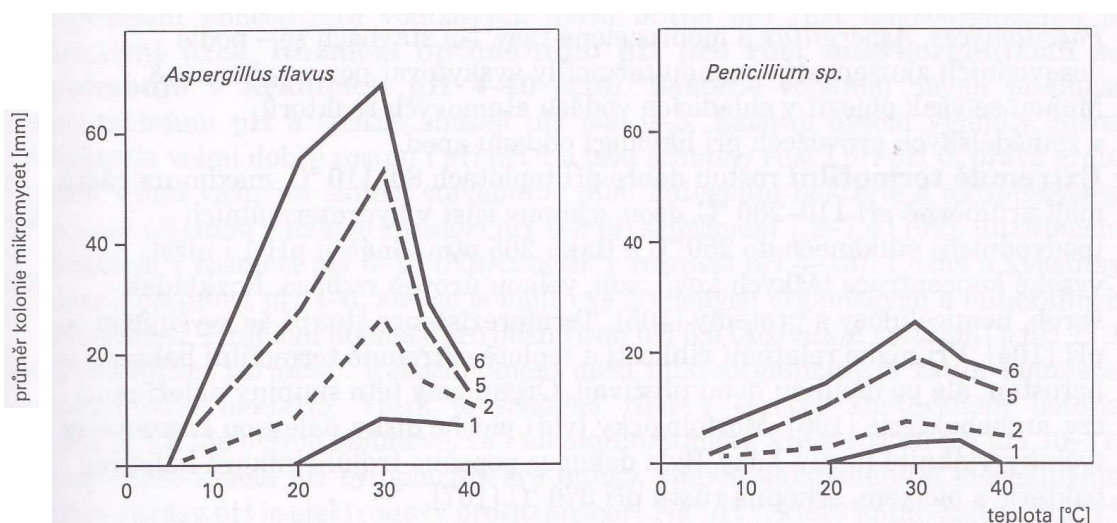
Kvasinky se rozmnožují pučením. Některé plísňe se mohou rozmnožovat i pohlavně. Živiny získávají vláknité mikromycety z okolního prostředí absorpcí, parazitické houby (paratrofní) z těl živých organismů (i člověka), saprofytické z těl uhynulých organismů nebo jiných organických látek [5]. Plísňe vytvářejí na povrchu povlaky různých barev, nejčastěji zelené, černé, šedé nebo žluté. Mikromycety a jejich spory vytvářejí také látky zvané mykotoxiny, jsou to přírodní jedy, toxické pro člověka a ostatní živé organismy. Závislost růstu mikromycet na teplotě je zobrazena na obr. 6.4 a jejich závislost na vlhkosti (v podobě součinitele hygroskopické rovnováhy a_w) v tab. 6-1.

Tato práce se zabývá pouze oddělením *Ascomycota*, především rody *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium* a *Cladosporium*, které jsou v kontextu rizik nejdůležitější.

- Rod *Aspergillus*: Vyskytuje se na potravinách a na stavbách. Některé druhy mohou vyvolávat alergie a mykózy.
- Rod *Alternaria*: Tento rod je běžnou plísní vlhkého zdiva a panelových objektů. Výjimečně mohou některé druhy parazitovat na člověku, častějším zdravotním rizikem je inhalace spor.

- Rod *Penicillium*: Patří mezi nejrozšířenější mikromycety v mírném klimatickém pásu. Pro člověka je patogenní pouze *P. marneffe*, způsobující systémové infekce u pacientů nemocných AIDS. Plísně tohoto rodu se vyskytují často na potravinách a běžně na stavebních materiálech a vlhkých zdech.
- Rod *Cladosporium*: I tento druh se vyskytuje na potravinách a na chladných (vlhkých) zdech. Některé druhy jsou pro člověka patogenní.

Jak už bylo uvedeno výše, kvasinky, jakožto jednobuněčné mikromycety, se rozmnožují pučením. Oproti ostatním mikromycetám jsou kvasinky lépe přizpůsobeny životu v prostředí s nadbytkem živin, na které reagují rychlým množením.



Obr. 6.4: Růst vybraných mikromycet v závislosti na teplotě, průměr po 1, 2, 5 a 6 dnech; „převzato z [5]”.

Tab. 6-1: Minimální úroveň a_w pro klíčení a růst některých druhů mikromycet; „podle [5]”.

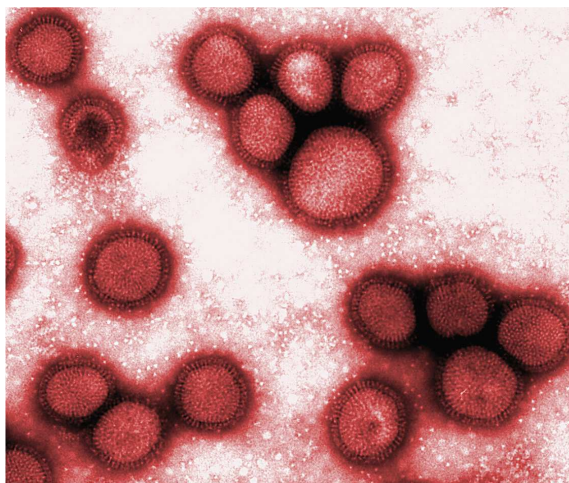
Druh mikromycety	min. a_w [%] pro:	
	vyklíčení	růst
<i>Aspergillus niger</i>	0,71	0,77
<i>Aspergillus flavus</i>	0,87	0,78
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0,86	0,88
<i>Alternaria alternata</i>	0,85	0,88

6.2.3 Viry

Jsou to částice výrazně menší než bakterie, v průměru měří od 0,02 do 0,2 μm [14]. Jsou původci mnoha chorob, oproti nemocem způsobených bakteriemi nejsou virová onemocnění zdaleka tolik pod kontrolou. Virus je nebuněčný organismus, uvádí se fakt, že viry se nachází mezi živou a neživou hmotou.

Viry nemohou existovat bez hostitelských buněk, ve kterých se reprodukují [14]. Viry zvrátí metabolismus napadené buňky a po rozmnožení a smrti hostitelské buňky se virové částice šířící infekci rozšiřují po organismu. Některé viry mohou napadat bakterie, říkáme jim bakteriofágy, jiné napadají živočichy, včetně člověka. Těm říkáme zooviry.

Viry způsobují širokou škálu onemocnění od rýmy a nachlazení, přes nebezpečný virus prasečí chřipky, až po nevyléčitelný virus HIV. Virus chřipky je zobrazen na obr. 6.5.



Obr. 6.5: Chřipkový virus; „převzato z [19]”.

6.3 Zdroje mikroorganismů v interiéru a jejich přehled

Nejčastějším, ne však jediným, zdrojem mikroorganismů, způsobujících člověku zdravotní potíže, jsou sami lidé, kteří zárodky mikroorganismů roznášejí do vnitřního i venkovního ovzduší a odtud do klimatizačních a dalších vzduchotechnických zařízení. Největší výskyt mikroorganismů v interiérech oproti venkovnímu prostředí je podle [5] v zimě. Většina mikroorganismů pro svůj život a rozmnožování nutně potřebuje vysokou vlhkost a teplotu.

Stavební a technické objekty nejsou optimálním životním prostředím pro mikroby, přesto se zde objevuje mnoho rodů mikrobů. Tito mikrobi potřebují pro svůj život výjimečné prostředí, řadíme je proto mezi tzv. extrémofily. Přehled typů extrémofilů a jejich charakteristických prostředí je uveden v tab. 6-2. Ve stavebních objektech se nejčastěji objevují psychrofilů a alkalofilů, případně osmofilů a oligofilů.

Tab. 6-2 Typy extrémofilů; „podle [5]“.

Druh extrémofilu	Charakteristika prostředí
termofily	vysoká teplota
psychrofilů	nízká teplota
acidofilů	kyselé prostředí
alkalofilů	zásadité prostředí
halofilů	velká koncentrace solí
barofilů	vysoký tlak
oligofilů	malá koncentrace organického substrátu
osmofilů	nedostupnost vody

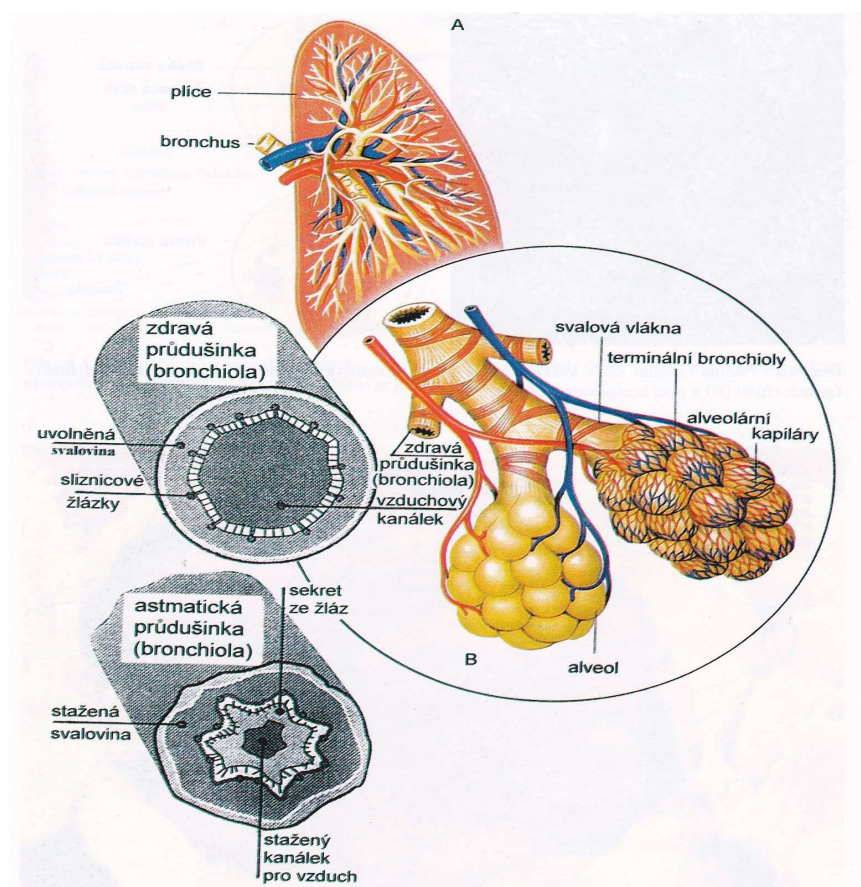
Kromě mikrobiálního mikroklimatu má na zdraví a psychickou pohodu člověka v obytných prostorách vliv např. použitý stavební materiál, provedení ventilace, teplotní a zvukové podmínky a mnoho dalších faktorů (viz kap. 3).

6.3.1 Mikroorganismy z venkovního prostředí

Z venkovního ovzduší se mohou mikroorganismy do místnosti dostat na aerosolu (pevném i kapalném) [4] nebo samostatně proudem vzduchu. Částice aerosolu mohou ulpívat také na člověku samotném, člověk se tak stává zdrojem mikrobů (viz 6.3.2).

Kapalný aerosol se do interiéru dostává i prostřednictvím klimatizačních zařízení.

Pevný aerosol je chápán především jako organický nebo anorganický prach, případně jako seschlý trus ptáků. Ten je nositelem především spor mikromycetů a suchých roztočů. Tyto mohou vyvolat astmatické záchvaty (schéma vzniku astmatu na obr. 6.6) u jedinců více vnímavých na kvalitu vzduchu.



Obr. 6.6: Schéma vzniku astmatu; „převzato z [4]”.

Podle tabulky 6-3 je nejvyšší výskyt mikrobů ve venkovním ovzduší velkoměstech, následují menší města a nejprůzračnějším venkovním prostředím jsou z tohoto hlediska vesnice a volná příroda.

Tab. 6-3: Výskyt a koncentrace mikrobů v ovzduší; „podle [4]”.

Místo	Počet mikrobů v 1 m ³ vzduchu
volná krajina	150-300
vesnice	250
malé město	400
velkoměsto	1000-1500
interiér budovy	200-900

6.3.2 Člověk jako zdroj mikroorganismů

Jak už bylo výše zmíněno, člověk je nejčastějším zdrojem mikroorganismů v budovách. Mikroby se do vzduchu dostávají nejen při kašli a kýchání, ale i při běžném hovoru. Tímto způsobem se do ovzduší dostávají hlavně viry a bakterie.

Nositeli těchto mikroorganismů jsou v tomto případě vodní kapénky. Uvádí se, že při kýchání se do ovzduší uvolní 4000 až 40 000 kapének [4]. Jak dlouho zůstávají kapénky v ovzduší záleží jen na jejich velikosti, některé kapénky se odpařují a bakterie a viry tak zůstávají na pevné části kapénky. Takto vyschlé kapénky potom padají do prachu a klesají k podlaze. U podlahy je také koncentrace mikrobů vyšší než ve výšce 1,5 m.

Člověk může do vnitřních prostor donášet mikroorganismy také zachycené na aerosolu. Tyto aerosolové částice ulpívají na oblečení a pokožce člověka.

Mikroorganismy se uvolňují s intenzitou pohybu, platí čím více pohybu, tím se zvyšuje koncentrace mikrobů. Při uvolňování mikrobů z oděvu navíc záleží na materiálu, ze kterého je vyroben. Pokud je oděv vyroben ze syntetického materiálu, který nelze prát při vyšších teplotách, zůstává v materiálu i po praní velké množství mikrobů. Mikroby navíc poškozují samotný materiál.

Mikroorganismy v prostorách bytu (ať už je jejich zdrojem cokoliv) zvyšují svoji koncentraci při každé lidské činnosti. Velký nárůst mikrobů představují stavební aktivity a úklidové práce. Při bourání zdiva se počet spor *Penicillium sp.* zvyšuje na 5-6 tisíc v jednom metru krychlovém vzduchu. Při vysávání vysavačem s nedostatečně udržovaným filtrem se do ovzduší dostává až 14-krát více spor plísni než je obvyklé. Mírný nárůst mikrobů v ovzduší je způsoben třeba i loupáním brambor.

Člověk je přenašečem nemocí způsobených mikroorganismy jako cholera (bakterie *Vibrio cholerae*), břišní tyfus (bakterie *Salmonella typhi*) nebo tuberkulóza (bakterie *Mycobacterium tuberculosis*).

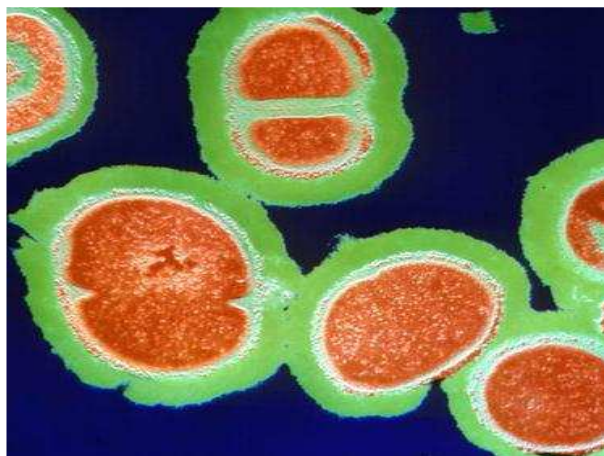
6.3.3 Mikroorganismy ze vzduchotechnických zařízení

Velmi častým zdrojem mikrobů v bytech jsou technická zařízení jako např. klimatizační systémy, teplovzdušné systémy nebo ventilace.

V případě klimatizací jsou největším problémem jejich filtry. Správná funkce filtrů znamená zachycování různých nečistot a mikroorganismů (především bakterií a mikromycetů) ze vzduchu. Pokud ovšem nejsou filtry pravidelně čištěny nebo vyměňovány, mikroby jsou z filtru zpětně vnášeny do proudícího vzduchu [4, 5]. Množství takových mikrobů může být nárazově velmi vysoké. Další problém nastává ve chvíli, kdy jsou filtry vlhké ($\phi > 70\%$). Ve vlhkém filtru totiž začíná množení mikroorganismů, především plísni. Jejich zárodky se přes klimatizaci také dostávají do vzduchu.

Podle [5] a [4] se v klimatizačních systémech objevují často bakterie *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* nebo *Enterobacter* a plísně *Aspergillus flavus*, *Aurebasidium pullulans* nebo *Fusarium sp.* Tyto mikroby vyvolávají u člověka např. angínové bolesti v krku, dýchací potíže, astma, alergické reakce nebo nachlazení. Velmi vážný je výskyt plísni *Aspergillus flavus* (zobrazena na obr. 6.8), která produkuje tzv. *aflatoxin*. Ten může být příčinou nádorových onemocnění. Dále může *Aspergillus flavus* způsobit *aspergilózu* nebo ucpaní tepen v mozku a infarkt. *Staphylococcus aureus* (viz obr. 6.7), neboli zlatý stafylokok, způsobuje např. *syndrom toxického šoku*, stafylokokovou *enterotoxikózu* a *enterokolitidu* nebo hnisavá onemocnění kůže a kostí [18, 14]. *Pseudomonas aeruginosa* napadá sliznice respiračního traktu a močových cest u lidí se

sníženou odolností organismu. Podobně jako zlatý stafylokok je částečně rezistentní proti běžným antibiotikům.



Obr. 6.7: Bakterie *Staphylococcus aureus*; „převzato z [20]”.



Obr. 6.8: Plíseň *Aspergillus flavus* se sporami; „převzato z [5]”.

Kromě bakterií a mikromycet (a jejich spor) se klimatizací mohou šířit také viry. Nejčastěji jsou to rhinoviry, které způsobují asi 50 % nemocí z nachlazení. Další viry způsobující tento druh nemocí jsou coronaviry, adenoviry, chřipkové viry nebo enteroviry. Asi desetinu tvoří viry zatím nepopsané a pro lékaře neznámé.

Nebezpečným zdrojem mikrobů jsou také zařízení pro zvlhčování nebo odvlhčování vzduchu, tj. zařízení, která pracují s vodou (v kapalném i plynném skupenství). Voda v zásobnících musí být pravidelně po několika dnech měněna, jinak hrozí riziko množení mikrobů. Zvláště nebezpečné je rozprašování, které s sebou přináší rozptýlení mikrobů v prostoru [4, 5]. Teplá voda v zásobníku v sobě ukrývá např. bakterie *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp. nebo *Streptococcus aureus* a mikromycety *Aspergillus niger*, *Cryptococcus neoformans*, *Penicillium* aj. Z výše uvedených jsou velmi nebezpečné spory plísně *Aspergillus niger* (plíseň na obr. 6.9), které výrazně snižují funkčnost plic a způsobují např. bolesti hlavy, závratě, akutní dýchací potíže nebo svědění očí a dermatitidu. Smrtelné následky může mít pro imunitně oslabené jedince kontakt se spory plísně *Cryptococcus neoformans*, které pronikají přes plicní sklípky do krevního řečiště a do mozku. Jak už bylo uvedeno v kap. 4.2.2 *Penicillium marneffei* je nebezpečný pro osoby s onemocněním AIDS. Streptokokové nákazy způsobují bakterie rodu

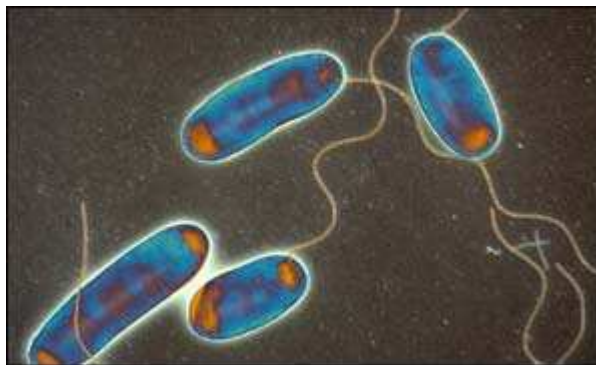
Streptococcus [14, 15, 17]. Tyto nákazy mají mnoho projevů, nejčastější jsou angíny nebo různé záněty.



Obr. 6.9: Plíseň *Aspergillus niger*; „převzato z [21]”.

Odvlhčovače mají zpravidla v zásobnících vodu chladnější, to je nepříznivé pro většinu mikromycet, ale bakteriím chladnější voda nevadí [4, 5]. Proto se výše uvedené bakterie v těchto zařízeních vyskytují.

Výrazným problémem v klimatizačních a v dalších technických zařízeních je bakterie *Legionella pneumophila*. Tato způsobuje dvojí plicní onemocnění: legionářskou nemoc a pontiackou horečku. V přírodě se bakterie *Legionella* vyskytují v malém množství ve vodě a ojediněle ve vzduchu. K nákaze dochází vdechnutím vodních částic s vysokou koncentrací těchto bakterií. U zdravých lidí se legionářská nemoc i pontiacká horečka léčí antibiotiky, ohrožení je daleko vyšší u lidí se sníženou imunitou. Bakterie *Legionella* je zobrazena na obr. 6.10.



Obr. 6.10: Bakterie *Legionella pneumophila*; „převzato z [23]”.

U lidí, kteří často pobývají v místnostech s nedostatečně spravovanými zvlhčovači, se může objevit horečka ze zvlhčovačů (tzv. *Humidifier fever*). Je to alergie na vdechnutí mikrobů (prvků). Projevuje se nevolností, kašlem, bolestmi hlavy nebo dýchavičností.

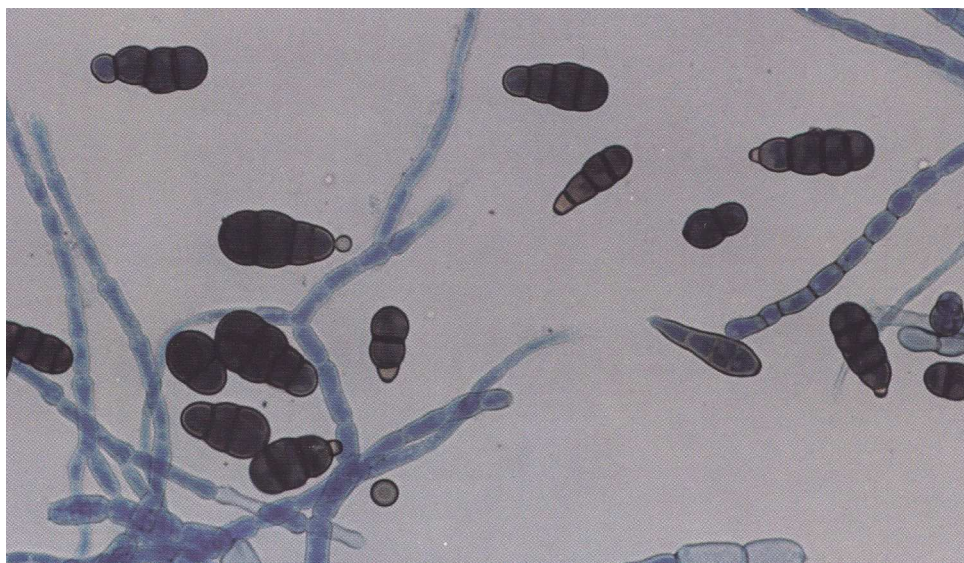
Hlavním nositelem mikrobů v dvojitých stropech a vzduchovodech je pevný aerosol v podobě prachu. I tady se ale může vyskytnout vlhkost. Pokud není potrubí dostatečně tepelně izolováno od chladnějšího prostředí, jímž prochází, může nastat kondenzace vodní páry. V tomto vlhkém prostředí se pak mohou mikroorganismy vyskytovat ve velkých koncentracích.

6.3.4 Mikroorganismy ze stavebních konstrukcí

Ve stavebních prvcích domů a bytů (dřevěné trámy, zdivo, podlahové krytiny, rámy oken apod.) se objevují plísně. Z nich se uvolňují při víření vzduchu spory, které se tak mohou dostat do lidského organismu. Plísně se ve stavebních konstrukcích objevují opět v důsledku zvýšené vlhkosti. Ta je základním požadavkem pro klíčení plísní, její náročnost na živiny během dalšího růstu je menší.

Častým výskytem plísní jsou rohy u stropu místností v podstřešních prostorech. To je způsobeno právě zvýšenou vlhkostí a nedostatečnou tepelnou izolací. Výskyt plísní zapříčiňuje např. nedostatečný tepelný odpor obvodového pláště, tepelné mosty, špatně těsnící spáry, nevhodný materiál, kondenzace vlhkosti uvnitř konstrukce, nízká vnitřní teplota nebo nedostatečná výměna vzduchu. U novostaveb je problémem uvedení stavby do provozu bez časově náročnějšího přirozeného vysychání a nedostatečné odvětrávání u dobře těsnících okenních konstrukcí, což vede opět ke kondenzaci vlhkosti.

Plísně na omítce se objevují už při relativní vlhkosti vzduchu $\varphi=80\%$ [5], ne tedy až při kondenzaci na povrchu zdi. Působení plísně je rychlejší u znečištěných povrchů zdí, růst plísní podporují také různé nátěry a tapetování. Na vlhkých zdech se vyskytují nejčastěji plísně rodu *Alternaria* (na obr. 6.11 jsou jasně viditelné její spory) a *Cladosporium*.



Obr. 6.11: Spory plísně *Alternaria alternata*; „převzato z [5]”.

Často jsou plísněmi napadány podlahové krytiny z PVC s textilní vrstvou. Rizikové je položení této krytiny na vlhký podklad, např. nedostatečně vyschlou vrstvu betonu. Vrchní vrstva PVC neumožňuje odpaření vlhkosti a způsobuje vznik plísní. V podlahových koberecích bez dezinfekce se objevuje množství bakterií a plísní rodu *Penicillium* nebo *Alternaria*.

V koupelnách jsou časté mikroby *Cladosporium herbarum*, *Auerobasidium* sp., a různé druhy rodu *Penicillium*. Místa výskytu plísní v bytech je naznačeno v tab. 6-4.

Tab. 6-4: Místa výskytu plísní v bytech v testované konstrukční sestavě; „podle [5]“.

Nejčastější místa výskytu	Výskyt [%]
rohy	10-20
spáry	19-32
špaleta oken	13
spára lodžie	11-19
štítová spára	15
štítový roh	7-14
štítová plocha	15

Nebezpečím pro zdraví člověka je kontaminace potravin mikroorganismy, především plísněmi. Přes zkažené potraviny se mohou mikroby dostat do lidského těla a způsobit zdravotní potíže. Potraviny se v bytových prostorech mohou znehodnotit všemi výše uvedenými druhy mikroorganismů. S potravinami úzce souvisí také bakterie *Clostridium botulinum*, která produkuje smrtelný botulotoxin [14]. *Clostridium botulinum* se vyskytuje v konzervovaném nebo zavařeném mase nebo i v zeleninových konzervách domácí výroby. Patogenní mikroorganismy v potravinách mohou způsobovat i další nemoci jako listerióza (bakterie *Listeria monocytogenes*), salmonelóza (bakterie rodu *Salmonella*) [15].

Při poranění je třeba dát pozor na bakterie *Clostridium tetani*, která způsobuje tetanus. Tyto bakterie se ovšem vyskytují v obytných prostorech zřídka.

Rizikům nákazy lze často předejít preventivním očkováním (pokud je to možné), jako např. očkování proti tetanu *tetanickým anatoxinem*.

7 Mikrobiální koroze

Obecně je biokoroze chápána jako změna vlastností materiálů, způsobená životními pochody a činnostmi živých organismů, např. mikroorganismů (mikrobiální koroze), hub, nižších a vyšších rostlin, členovců i obratlovců. Pro tento jev existují kromě pojmu biokoroze také názvy jako biologická degradace, poškození nebo znehodnocení, případně biodegradace [5, 22]. Biokoroze jako obor je členěna na tři směry: biodeteriorace a biodegradace technických materiálů a bioredempce polymerních implantátů.

Biodeteriorace neboli bioreceptivita sleduje mechanismy znehodnocování materiálů, možnosti jejich ochrany, zvýšení životnosti a spolehlivosti. Organismy, které způsobují změny materiálu, se označují jako biodeteriogeny. Biodegradace vede působením biodeteriogenů k výrazným změnám v odpadu až po rozklad odpadového materiálu na jednoduché složky využitelné rostlinami. Bioredempce polymerních implantátů se zabývá příčinami znehodnocení a výpadku funkce těchto implantátů v lidském organismu, možnostmi ochrany a zvýšení jejich životnosti a spolehlivosti.

Pro všechny směry biokoroze je společné zvýšení neuspořádanosti původních systémů. Tato práce se blíže zabývá pouze mikrobiální korozí.

7.1 Proces biokoroze obecně

V biokorozním procesu je aktivním činitelem biodeteriogen (v našem případě mikroorganismus, tj. bakterie a plísň) a pasivním technický materiál. Pokud je materiál pro biodeteriogeny potravou a rozkládají ho pomocí enzymů, mluví se o tzv. asimilačním poškození. V případě disimilačního poškození materiál není hlavním zdrojem živin.

Při procesu mikrobiální koroze se přihlíží k podmínkám vnějšího prostředí (makroklima), které ovlivňuje samotnou existenci mikrobů, a k prostředí přímo na styku materiál – biodeteriogen (mikroklima). To ovlivňuje především proces napadení materiálu.

Biodeteriogeneze má tři části:

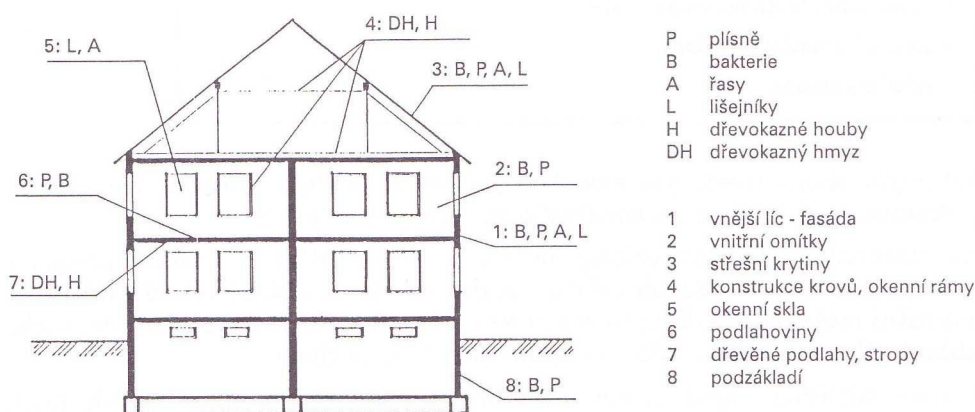
- Infekce: Dochází v ní k navození stálého styku mezi materiálem a působícím organismem.
- Inkubace: Etapa od infekce po období zjevných symptomů.
- Manifestace: Fáze, při níž jsou symptomy zjevné a představují významné poškození.

Při biokorozi většinou nepůsobí jen jediný druh biodeteriogenu, ale celý komplex mikrobů (tzv. asociace nebo konsorcia), které se vzájemně ovlivňují a tvoří tak vlastní ekosystém. Stupeň napadení materiálu závisí velkou měrou na jeho druhu. Například u plastů je důležitým aspektem pro míru napadení druh polymeru, typ stabilizátoru a změkčovadla nebo tvar výrobku.

Nejvýznamnějšími faktory pro šíření mikrobů, způsobujících biokorozi, jsou opět především teplota a vlhkost. Dalšími aspekty života biodeteriogenů jsou živiny, hodnota pH nebo přítomnost kyslíku. Existují biodeteriogeny, které pro život vyžadují zvláštní podmínky – extrémofily.

Možnosti šíření biokorozních mikrobu jsou podobné jako v případě šíření patogenních mikroorganismů, tj. větrem, hmyzem, prostřednictvím člověka nebo vzduchotechnických zařízení.

Interakce systému materiál – biodeteriogen v nejjednodušší fázi nastává už při osídlení materiálu mikroby. Důsledkem této interakce jsou funkční (mechanické, elektrické, optické, chemické) a morfologické (barevné skvrny, pitting) změny materiálu. Všeobecně se poškození materiálů mikroby klasifikuje na fyzikální a chemické poškození. Fyzikální se rozlišuje na ireverzibilní (ztráta pevnosti) a reverzibilní (elektrické zkratky přístrojů), chemické na asimilační a disimilační. Nejčastější výskyt biodegradačních činitelů je naznačen na obr. 7.1.



Obr. 7.1: Oblasti budovy s největší aktivitou biodegradačních činitelů;
„převzato z [5]”.

7.2 Biodeteriogeny částí staveb

7.2.1 Sirné bakterie

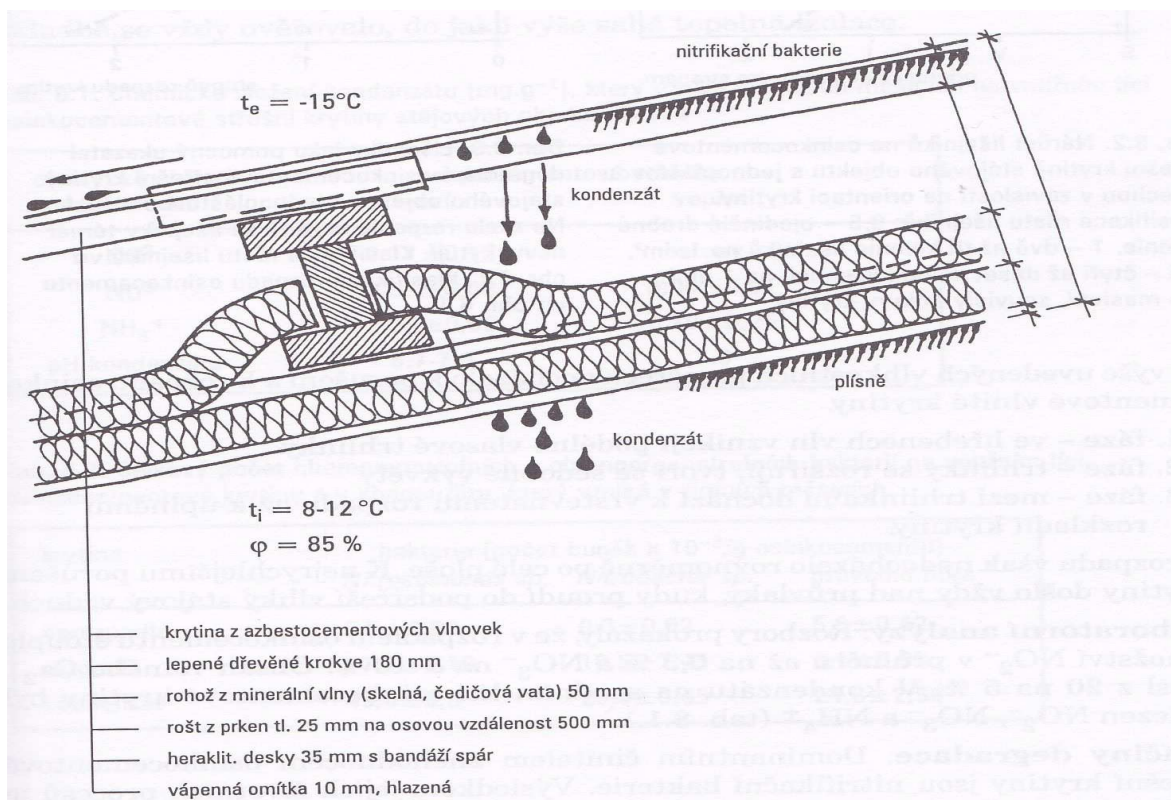
Patří mezi bakterie, které žijí v prostředí s CO_2 jako jediným zdrojem uhlíku. Vyskytují se ve vodě, půdě a v prostředí s dostatkem vlhkosti a síry. Napadají především stavební a dekorační kámen. Jejich činností vzniká kyselina sírová. Mezi hlavní zástupce sirných bakterií patří *Thiobacillus thioparus*, *T. denitrificans*, *T. thiooxidans*, *T. thermophilus* nebo *T. novellus*.

7.2.2 Desulfurikační bakterie

Jsou to bakterie anaerobní a fakultativně autotrofní [5, 22]. Nejvíce se vyskytují na jaře (sirovodík v půdě). Napadají fasády domů. Významnější než jejich korozní aktivita je přísun sirných sloučenin pro sirné bakterie. Nazývají se průvodci sirných, ale i nitrifikačních a denitrifikačních bakterií. Hlavními zástupci jsou *Desulfovibrio desulfuricans*, *D. vulgaris*, *D. gigas*, *Desulfotomaculum nigrificans*, *D. ruminis* nebo *D. orientis*.

7.2.3 Nitrifikační bakterie

Náleží mezi chemoautotrofní bakterie (získávají energii oxidací anorganické látky). Vyskytují se v půdě, ve vodě i na holém povrchu vápenců. Jejich činností vzniká kyselina dusitá a dusičná, které reagují s vápennými složkami materiálů a způsobují jejich vyluhování. Proces nitrifikace rozdělujeme do dvou fází, v první fázi jsou aktivní bakterie *Nitrosomonas*, *Nitrosobolus* nebo *Nitrosospira*, ve druhé fázi je nejpodstatnější působení bakterií *Nitrobacter sp.* Schéma počátku působení nitrifikačních bakterií je uvedeno na obr. 7.2.



Obr. 7.2: Schéma střechy s vyznačenými místy započetí biodegradace nitrifikačními bakteriemi; „převzato z [5]”.

7.2.4 Denitrifikační bakterie

Většinou patří mezi aerobní, pro růst v anaerobním prostředí využívají nitráty jako elektronový akceptor. Denitrifikace výraznou měrou závisí na teplotě, optimální je $t=25^\circ\text{C}$ (u termofilů $60-65^\circ\text{C}$). Při denitrifikaci vznikají z NO_3 produkty N_2O a N_2 . Dominantními organismy pro denitrifikaci jsou např. bakterie *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* nebo *P. fluorescens*, které využívají NO_3 jako konečný elektronový akceptor. Dalšími zástupci denitrifikačních bakterií jsou zástupci rodů *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycoplana* nebo *Vibrio*.

7.2.5 Silikátové bakterie

Jsou to chemoorganotrofní bakterie. Velmi dobře přežívají v prostředí s vysokou koncentrací soli, mnoho z nich se řadí mezi halofily, některé dokonce mezi extrémní halofily (např. *Micrococcus halobius*). Tyto bakterie jsou korozně aktivní dvěma způsoby, jednak vylučováním organických kyselin (kys. glauková, citronová, šťavelová aj.), a jednak vylučováním extracelulárních polymerních substancí (EPS). EPS je biogeofyzikálním vlivem, vede ke změně porozity a permeability kamene. To způsobuje zvýšení rychlosti kapilárního přenosu vody kamenem. K silikátovým bakteriím patří např. *Bacillus circulans*, *B. pumilus*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas fluorescens* nebo *P. oxalicus*.

7.2.6 Mikromycety

Plísně vyžadují pro život vyšší vlhkost. Na stavebních materiálech (kameni) mohou některé druhy (čeled' *Dematiaceae*) způsobovat barevné zabarvení – černé, červené, žluté a hnědé. Plísně produkují organické kyseliny, způsobují rozpouštění, rekrystalizaci a redepozici kalcitu, ovlivňují demineralizaci a vyluhování kationů.

Mikromycety se účastní také biotransferu kovů v kameni. To se projevuje jako lístkování nebo šupinkovaté odlupování kamene. V tomto směru jsou aktivní hlavně mikromycety *Alternaria tenuis* nebo *Cladosporium cladosporioides*. Další známé biokorozní plísně jsou zástupci rodu *Penicillium*, *Aspergillus* nebo *Fusarium*.

7.3 Mikrobiální koroze materiálů

Stavby a jednotlivé části staveb jsou často osídleny skupinami organismů, které mohou na stavební díla působit dvěma způsoby, fyzikálně a biochemicky.

Fyzikální působení zapříčiňují především růstové procesy organismů, které způsobují tlaky, ty pak narušují strukturu materiálu. Takto působí na stavební materiály především rostliny, fyzikální působení mikrobů je minimální.

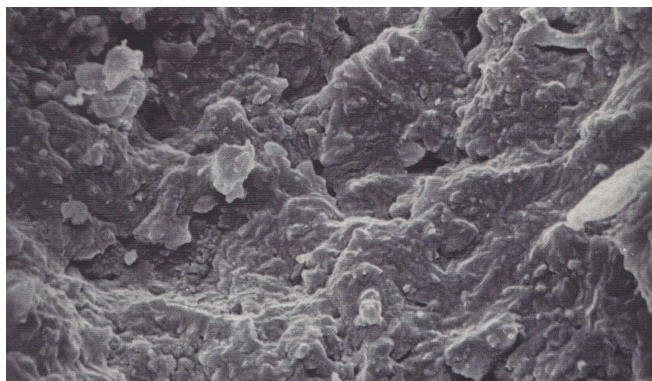
Mikrobi působí na stavební materiál především biochemicky. Anorganické materiály jsou napadány minerálními kyselinami, které produkují sírné a nitrifikační bakterie. Ostatní mikroorganismy působí na anorganické materiály hlavně tvorbou organických kyselin, které podle [5] zapříčiňují:

- Mobilizace kationů: Organické kyseliny napadají stavební kámen, přičemž vznikají soli (octany, mléčnany).
- Tvorba chelátů: Alespoň dva atomy organické sloučeniny tvoří vazbu s iontem kovu.
- Výměna iontů: Kationy materiálu (stavebního kamene) jsou nahrazeny protony organických kyselin.

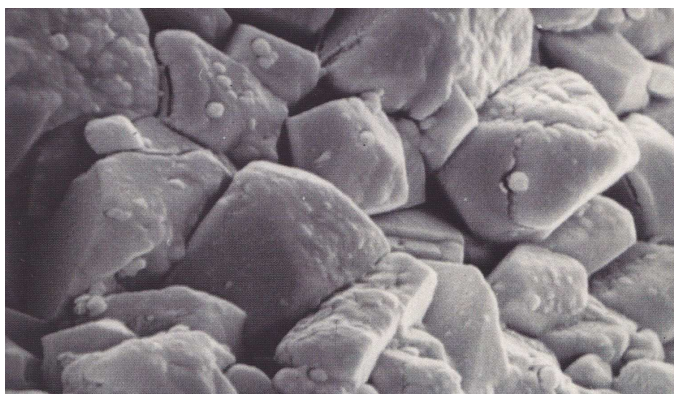
Tyto procesy vedou k hlubokému porušení a uvolnění struktury materiálů, pittingu nebo ke změně rozpustnosti a tzv. „chemickému rozevření materiálů“.

Biochemické působení mikrobů na organické materiály (tj. materiály obsahující zdroj uhlíku) probíhá za příznivých teplotních a vlhkostních podmínek v průběhu metabolických procesů (tlení, kvašení, hnití, apod.). Příkladem biodegradace je působení mikrobů

na vzorek z osinkocementu zobrazeným před působením mikrobů na obr. 7.3 a po jejich působení na obr. 7.4.



Obr. 7.3: Nedegradovaný osinkocementový vzorek, zvětšení 1300x; „převzato z [5]”.

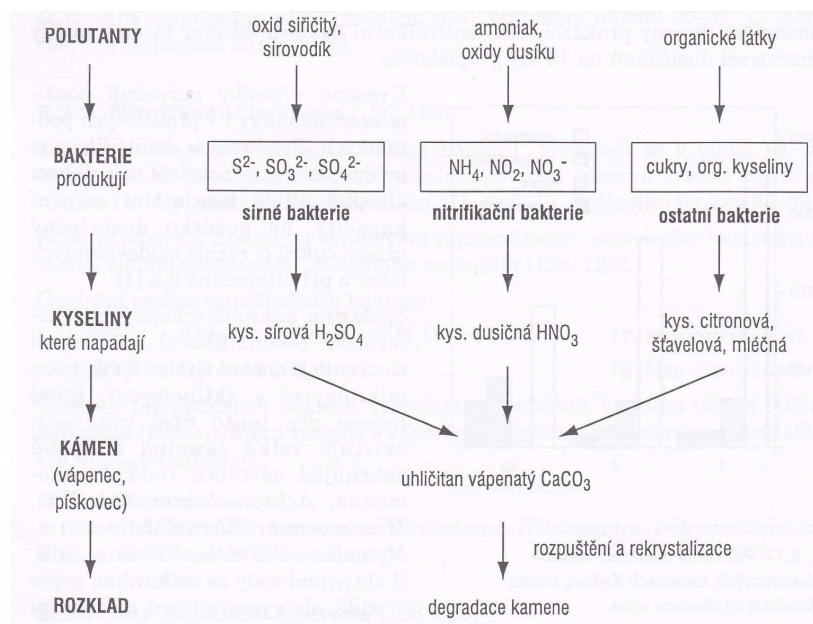


Obr. 7.4: Degradovaný osinkocementový vzorek působením nitrifikačních bakterií, zvětšení 1300x; „převzato z [5]”.

7.3.1 Mikrobiální koroze stavebního a dekoračního kamene

Vlhký kámen je v přírodních podmínkách napadán celým mikrobiálním společenstvem (různé druhy bakterií, plísně, aktinomycety, apod.). Častým jevem je také asociace mikrobů a řas, které udržují ve svém okolí vlhké prostředí a vytvářejí cukry, které bakterie asimilují za tvorby kyselin (schéma tvorby kyselin je zobrazeno na obr. 7.5).

Mikroby se účastní tvorby krusty (nebezpečná je hlavně tmavá krusta), která zabraňuje dýchání zdiva a ucpává póry. Tím přispívá k rozpadu zdiva. K tvorbě krusty přispívají především nitrifikační bakterie, pod povrchem kamene působí sírné bakterie. Při dostatečné vlhkosti zdiva (5 %) dochází v povrchové vrstvě (později i v hlubších vrstvách) k růstu různých druhů mikrobů. Ty zde produkují metabolity (organické kyseliny, aminokyseliny), které vytvářejí soli a ty urychlují migraci vody zdivem. To způsobí nástup dalších skupin mikrobů a následnou tzv. deskovou korozi (tzv. princip acidolýzy). Typickým znakem deskové koroze jsou lehká vyboulení na povrchu zdiva, které přecházejí v trhlinky a odpadnutí vrstvy zdiva. Důkazem přítomnosti mikrobů na kameni je detail povrchu kamene na obr. 7.6.



Obr. 7.5: Schéma tvorby kyselin bakteriemi a jejich vliv na degradaci kamene; „převzato z [5]”.



Obr. 7.6: Detail povrchu historického kamene (zvětšení 2500x): bakterie a hyfy mikromycet; „převzato z [5]”.

7.3.2 Mikrobiální koroze betonu

Biokoroze betonu je v podstatě specifický druh chemické koroze, podle [5] II. a III. typu. Bakterie způsobují především kyselinovou korozi (koroze II. typu). Kyseliny (octová, mravenčí, citronová aj.) jsou produktem metabolismu bakterií. Reagují hlavně s $\text{Ca}(\text{OH})_2$, za tvorby vápenných solí. Koroze je rychlejší, čím jsou soli rozpustnější a čím rychleji jsou z betonu vymývány při kondenzaci vodní páry.

Koroze síranová (koroze III. typu) je typická pro sírné bakterie (rod *Thiobacillus*). V pórech a kapilárách betonu se hromadí a krystalizují soli a reakční produkty. Tato pevná fáze a růst krystalů může způsobit tlaky na stěny pórů, může tak dojít i k destrukci a ztrátě pevnosti betonu.

Významným degradačním činitelem betonu jsou mikromycety, schopné růst na nepatrných částech špíny a prachu. Tyto mikroskopické vláknité houby produkují organické kyseliny, tím snižují pH betonu a jeho pevnost.

Velmi často jsou betonové konstrukce napadány bakterií *Bacillus mucilaginosus*, ta je schopna uvolňovat a transformovat aluminosilikáty (opět produkcí organických kyselin) a měnit porozitu betonu.

7.3.3 Mikrobiální koroze dřeva

Mikroby napadající dřevěné konstrukce jsou opět bakterie a plísně. Vyvolávají hlavně estetické škody, zvyšují permeabilitu a mírně mohou ovlivnit mechanické vlastnosti dřeva. Ke svému působení potřebují vysokou vlhkost a teplotu, pro růst na smrkovém dřevě jsou to podle [5] hodnoty vlhkosti dřeva 60-125 % a teploty 20-30 °C. Hloubka průniku do struktury je specifická pro každý druh, největších hloubek dosahuje plíseň *Aspergillus fumigatus* a *Fusarium solani* (cca 10 mm).

Bakterie na vlhkém dřevě omezují růst dřevokazných hub a rozkládají některé ochranné biocidy. Patří mezi ně např. *Bacillus asterosporus* nebo zástupci rodu *Mycobacterium*.

7.3.4 Mikrobiální koroze kovů

Tento typ koroze je nebezpečný především z hlediska porušení kovových potrubí. Nejvíce podléhá mikrobiální korozi železo, napadány jsou však i všechny ostatní kovy (s výjimkou Ti) a slitiny, např. konstrukční kovy měď a hliník. Princip spočívá ve vytvoření biofilmu na povrchu kovu [24]. Biofilm je tvořen společenstvem mikroorganismů a vyšších organismů. Uvnitř biofilmu probíhá látková výměna a čerpání živin, typický biofilm má spodní vrstvu neokysličenou a vrchní okysličenou. Vychází to ze vzniku biofilmu, kdy prvotně je povrch kovu osídlen anaerobními bakteriemi. Anaerobní mikroby využívají k dýchání místo kyslíku sulfáty, příp. nitráty nebo fosfáty a živiny získávají z organických kyselin, alkoholů, cukrů, apod.

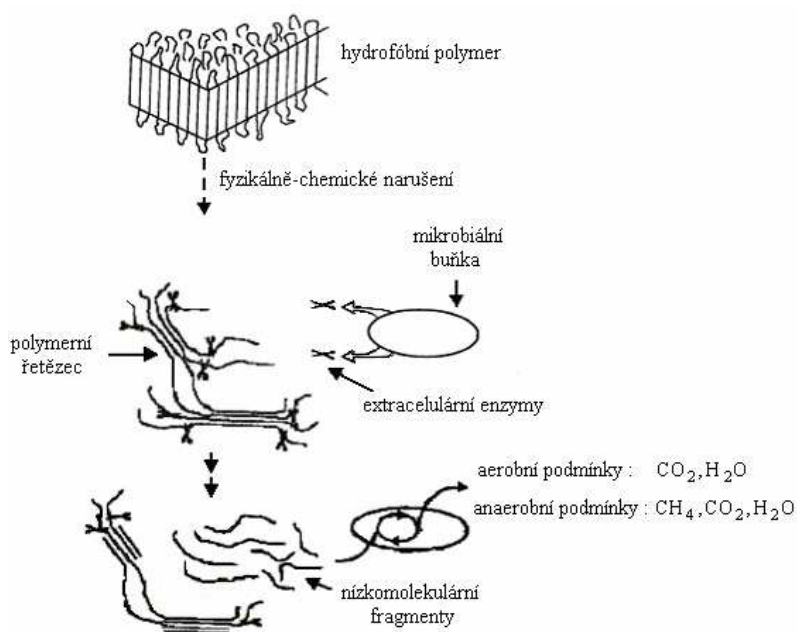
Bakterie nezpůsobují samotný korozní děj, ale často se jej účastní a výrazně podporují. Existuje několik mechanismů působení bakterií, ty se podle podmínek uplatňují současně, střídavě nebo sousledně.

- Aerobní koroze: Je to elektrochemický proces, při kterém vzniká na vlhkém místě článek. Následnými elektrochemickými ději se vytvoří hydroxid a oxid železitý, které vytváří nad místem koroze hrbolek, prasklinami se zvyšuje přísun kyslíku a za vzniku důlků (pitting) se objevuje lokální koroze. Aerobní biofilm může na jednu stranu omezit přísun kyslíku, na druhou stranu ji ovšem podporuje tvorbou koncentračních článků a působením kyselých metabolitů.
- Abiotická anaerobní koroze: V tomto mechanismu se mikroby neuplatňují, je však pro proces mikrobiální koroze kovů důležitý. Spočívá v působení sulfanu, jeho množství a množství síranových solí výrazně ovlivňuje rychlost koroze.
- Koroze pod anaerobním biofilmem: V biofilmu se vytváří velké množství sulfanu, tím se výrazně urychluje abiotická anaerobní koroze, dále se vytvářejí sekundární produkty, které mohou porušit ochranný povlak (sulfidy, které zpomalují korozi). Bakterie s enzymem hydrogenázou navíc spotřebovávají katodu polarizující vodík, tzv. „teorie depolarizace katody“.

- Koroze při střídání aerobních a anaerobních podmínek: Rychlost koroze je výrazně vyšší pokud se na povrchu kovů vyskytují sulfan i kyslík, případně pokud jsou přítomny střídavě. Nejvýznamnější roli hrají produkty reakcí sulfanu a kyslíku. Bakterie opět přispívají do průběhu koroze působením svých metabolitů.
- Teorie korozivních metabolitů: Podle [24] mohou bakterie vytvářet vysoce korozivní sloučeninu redukovaného fosforu, která velmi rychle napadá povrch kovu. Přestože je tento metabolit hypotetický, není jeho spoluúčast na korozi vyloučena.

7.3.5 Mikrobiální koroze polymerů

Biodegradace plastů je v současné době závažným problémem. Ve většině případů jde o žádaný děj (rozklad odpadních plastů). Biokoroze se však uplatňuje také na technických prvcích a tím omezuje jejich funkčnost a životnost. Schéma počátku biodegradace polymerů je znázorněno na obr. 7.7.



Obr. 7.7: Schéma biodegradace polymerů; „převzato z [25]”.

Proces mikrobiální koroze plastů může opět probíhat aerobně nebo anaerobně, liší se ve složení produktů, produkty v aerobních podmínkách jsou CO₂, H₂O a minerální soli, v anaerobních podmínkách jsou to CH₄, CO₂, H₂O a minerální soli [5, 25]. V případě hydrofobního polymeru předchází vlastní biodegradaci narušení struktury polymeru vlivem fyzikálně-chemických faktorů. Samotnou biodegradaci zapříčiňují extracelulární enzymy mikrobů, které rozštěpí polymerní řetězec na menší části. Ty jsou snáze přepravovány do buněk mikroorganismu, kde jsou mineralizovány. Biodegradace polymerů začíná vždy v aktivních místech (nahodilé dvojné vazby, OH skupiny na terciálním uhlíku, apod.).

Polyethylen (PE) je částečně krystalická látka v jejíž struktuře jsou přítomny nepravidelnosti ve vazbě C=C. V těchto nepravidelnostech biodegradace začíná, přesto je PE považován za inertní vůči biodegradaci, v odpadovém hospodářství jsou tato omezení eliminována přidáním prodegradantních aditiv.

Polypropylen (PP) je napadán skupinou mikrobů (*Pseudomonas chlororaphis*, *P. stutzeri*, *Vibrio sp.*, aj.) [26]. Důsledkem biodegradace je ztráta hmotnosti PP. Produkty biodegradčních procesů jsou různé uhlovodíky.

Neměkčený polyvinylchlorid (PVC) je proti biodegradaci velmi odolný, mikroby (*Micrococcus*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes spp.*) napadají změkčovadla měkčeného PVC [5].

Polyvinylalkohol (PVA) je v suchém stavu resistantní vůči biodegradaci, ve vodném roztoku jí však podléhá. Bakterie *Pseudomonas sp.* a *Acinetobacter sp.* štěpí vazby C-C v PVA, vznikají karboxylové kyseliny.

Polyamid (PA) a polyuretan (PUR) podléhají biodeterioraci. PA obsahuje peptidové vazby a PUR amidové skupiny, které se snadno štěpí působením hydrolytických enzymů mikrobů.

Isoprenové jednotky přírodního kaučuku jsou napadány velmi intenzivně, plísněmi a sirnými bakteriemi je napadána vulkanizovaná přírodní pryž. Napadány jsou také boční řetězce silikonového kaučuku.

Mikroflórou jsou rozkládány polyakryláty, polystyren (PS), polyakrylonitril (PAN) nebo polytetrafluorethylen (PTFE) jsou proti biodegradaci odolné díky nepřístupnosti bočních řetězců (esterové a nitrilové skupiny) pro hydrolytické enzymy.

Možným řešením likvidace plastů biodegradací je používání nových, zcela rozložitelných polymerů, případně modifikací struktury používaných polymerů tak, aby se staly biodegradabilní.

8 Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu

8.1 Základní principy bytové hygieny

Mnoho problémů souvisejících s mikroby v interiéru způsobuje prach, je proto nutné omezit jeho výskyt a důsledně odstraňovat částice pudy, které jsou v interiéru nejčastějším zdrojem prachu [5].

Velmi důležitým principem je udržení pracovních míst v čistotě, zejména to platí pro kuchyni. Pro práci by se neměly používat hrubé povrchy, které mohou být zdrojem mikrobů. Vhodné je také čistit a dezinfikovat lednice a mrazničky, některé bakterie (*Bacillus cereus*, rod *Listeria*) v tomto prostředí dlouho přežívají a mohou kontaminovat potraviny. Nutné je také včasné odstranění organických zbytků a likvidace již kontaminovaných potravin.

Dále je vhodné přesvědčit se, zda bojler nebo zvlhčovací fontánky v bytě neobsahují bakterii *Legionella pneumophila* (viz 6.3.3). Důležité je také zajistit včasnou opravu protékajícího ústředního topení, jinak hrozí vznik plísní [4]. Se základními hygienickými principy souvisí také péče o čistotu pokožky, obuvi a oděvu nebo izolace nemocných osob.

8.2 Zásah do zdroje mikroorganismů

Zásahem do zdroje se rozumí především úprava vzduchotechnických zařízení a zamezení (příp. odstranění) zkondenzované vody na stěnách.

KZ by měly být vybaveny parním zvlhčovačem místo sprchovací komory. Pro odvlhčování vzduchu se doporučují suché metody (φ by neměla přesáhnout 70 %) místo kondenzace na chladiči [4, 5]. Suché metody jsou vhodné také při filtraci vzduchu. Doporučuje se použití filtrů (vícestupňových) i na vstupu čerstvého vzduchu do systému a na výstupu do klimatizovaných prostor. Vhodná (téměř nutná při použití pračky vzduchu) je sterilizace vzduchu.

U všech typů zařízení s kondenzací vodní páry je nutné zajistit včasný odvod kondenzátu, jinak hrozí množení mikrobů.

Vzduchovody a mezistropy musí být snadno čistitelné a při průchodu chladnými místy se musí zamezit kondenzaci vodní páry. Toho lze docílit vhodnou izolací (odstranění tepelných mostů).

8.3 Zásah do pole přenosu

8.3.1 Omezení šíření mikrobů

Pro omezení (příp. zamezení) šíření mikrobů v interiéru je důležitá hlavně péče o čistotu.

Nejjednodušším a ekonomicky výhodným postupem je přívod čerstvého vzduchu. Účinnost záleží na kvalitě přiváděného vzduchu a na proudění vzduchu v místnosti, ze zdravotnictví je známo tzv. *vytěšňovací větrání*.

Šíření mikrobů může zapříčinit také hmyz (švábi, mouchy, komáři, apod.). Hmyz lze odstranit např. rozprašováním slabého roztoku oleje z himalájského cedru. Tato látka je pro člověka oděrově příjemná a ekonomicky výhodná.

8.3.2 Dezinfekce vzduchu a stavebních objektů

„Dezinfekce je proces, kdy se živá a neživá hmota pomocí speciálních, chemických a fyzikálních nebo kombinovaných prostředků a postupů přivádí do takového stavu, že již nemůže způsobit infekci.“ [5] Živou hmotu představuje kontaminovaná pokožka, neživou kontaminované plochy a povrchy. Běžně se dezinfekce užívá pro ničení, inaktivaci a odstranění mikrobů.

Dělí se na dezinfekci preventivní a represivní. Preventivní (ochranná) dezinfekce se provádí průběžně v prostředí, ve kterém lze předpokládat výskyt původců nákaz. Represivní (ohnisková) dezinfekce se používá pro zneškodnění zárodků v ohnisku nákazy. Ve zdravotnictví se používá vysoce účinná dezinfekce – HLD (High Level Disinfection).

Dezinfekční přípravky by měly podle [5] splňovat požadavky:

- široké spektrum účinku nebo selektivní účinek na určitý druh mikrobů;
- nízká účinná koncentrace;
- krátká doba působení;
- neovlivnění účinnosti vlivem prostředí;
- ekologické, pro lidi a zvířata netoxické, snadno bidegradovatelné;
- dobře skladovatelné a trvanlivé.

Správný účinek dezinfekce (baktericidní, fungicidní, apod.) zajišťují chemicky aktivní látky. Hlavní skupiny těchto látek jsou:

- aldehydy (např. formaldehyd);
- alkoholy (ethanol, bytylalkohol, izopropanol, triethylenglykol apod.);
- cyklické sloučeniny (fenol, kresol, alkylfenol, chlorfenol apod.);
- halogeny (chlornany, jodofory);
- kvarterní amoniové sloučeniny (benzalkonium chlorid);
- peroxosloučeniny (peroxid vodíku, peroxokyseliny).

Účinnost jednotlivých látek uvádí tabulka 8-1:

Tab. 8-1: Účinek chemicky aktivních látek na mikroorganismy; „podle [5]“.

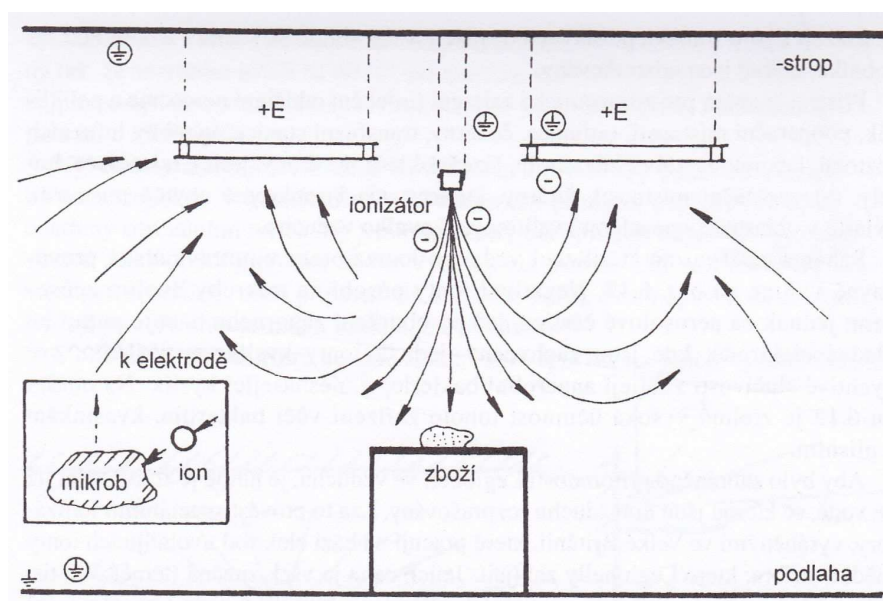
Druh chemické látky	Bakterie, kvasinky	Viry	Plísně	Spory bakterií
aldehydy	++	++	++	++
alkoholy	++	+	++	-
cyklické sloučeniny	+	+/-	+/-	-
halogeny	++	++	++	+/-
kvarterní amoniové sloučeniny	+	+/-	+	-
peroxosloučeniny	++	++	++	+/-

Význam symbolů ++: velmi dobrý účinek, +: dobrý účinek, +/-: částečný účinek,
- žádný účinek.

Hlavní dělení dezinfekcí je na chemickou a fyzikální (příp. fyzikálně-chemickou). Chemické metody zastavují růst mikrobů nebo je přímo usmrtí použitím chemických látek – biocidů (anorganické biocidy, organické fungicidy). Fyzikálními metodami jsou např. var za různých podmínek, použití germicidních zářičů (UV záření), dezinfekce v mycích, parních a pracích přístrojích při $t > 90^\circ\text{C}$, ultrazvuk, spalování a další. Fyzikálně-chemické metody kombinují obě předešlé metody, jedná se především o mycí stroje při teplotách 40°C nebo 60°C s přísadou biocidů.

8.3.3 Sterilizace vzduchu

Sterilizace se od dezinfekce liší vyšší účinností. Je to souhrn opatření, která ničí nebo odstraňuje všechny mikroorganismy (včetně spor) z prostředí. Sterilizaci rozdělujeme na fyzikální a chemickou. Fyzikální metody jsou parní sterilizace v tlakových přístrojích, horkovzdušná sterilizace v speciálních sterilizátorech a radiační sterilizace. Chemické metody jsou sterilizace formaldehydem do 80°C , etylenoxidem do 55°C nebo sterilizace plazmou pod 50°C . Schéma sterilizačního zařízení je zobrazeno na obr. 8.1.

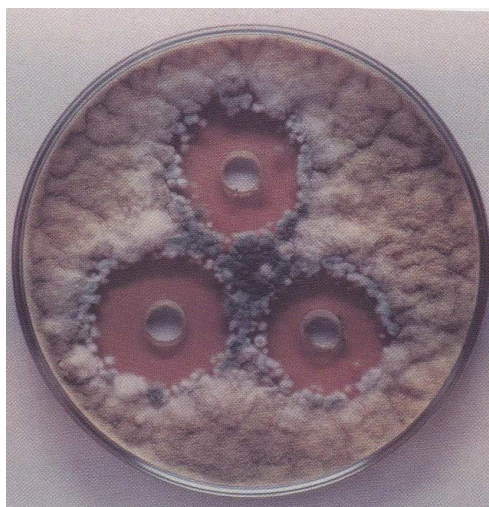


Obr. 8.1: Schéma zařízení na sterilizaci vzduchu, +E značí kladnou elektrodu, strop je záporná elektroda; „převzato z [4]”.

8.3.4 Úprava stěn

Tato metoda spočívá v přidání baktericidní a mykocidní substance do povrchového filmu stěny nebo i jiných předmětů. Při správném postupu hraje hlavní roli materiál vnitřního povrchu, kolonie se tvoří převážně na plastech [4]. Touto metodou se odstraňují hlavně plísně, které nejsou citlivé na UV záření a jejich vlákna pronikají do větší hloubky zdiva. Při odstraňování plísní se nejdříve musí odstranit ohnisko (mechanické seškrábání) a následně příčina (tepelné mosty). Následně se musí zdi chránit vhodnými fungicidy (např. Savo).

Fungicidní přípravky se přidávají i do nátěrových hmot a používají se nejen pro sanaci zdiva, ale i podlahových krytin, plastů, omítek, apod. Ukázka působení fungicidního přípravku na mikromycety je zobrazena na obr. 8.2.



Obr. 8.2: Působení fungicidní aktivity *antimykotika nystatinu* na plíseň *Aspergillus flavus*; „převzato z [5]”.

8.4 Zásah na subjektu

Zásah na subjektu úzce souvisí se základními hygienickými principy. Materiál oděvu a hlavně spodního prádla je v přímém styku s vlhkým povrchem pokožky. Těsné prádlo nepropouští pot a vytváří ideální mikroklima pro růst mikrobů. Pokud je to možné, doporučuje se prát prádlo při $t=85\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přidání dezinfekčních přípravku při praní [4, 5]. Syntetické materiály nelze prát ani žehlit za vyšších teplot, mikroby se mohou hromadit a uvolňovat do prostředí. Vláknina z lycry podporuje rozvoj mikrobů stejně jako polyamidové. Vzácně přežívají mikrobi na vlákně z polyesteru a mikrovlákna.

9 Závěr

Lidé tráví většinu svého času v budovách, tzn. ve vnitřním prostředí. Je proto důležité zajistit jeho správnou kvalitu. K tomu slouží vzduchotechnická zařízení, která upravují parametry mikroklimatu. Mikroklima je komplex jednotlivých složek, které dávají dohromady celkové vnitřní prostředí. Každému se může jevit jako optimální jiné prostředí, rozhodujícím faktorem pro posouzení optimálnosti je vlastní pocit spokojenosti s daným prostředím. To se liší především vnímavostí jedince na různé podněty (teplota, vlhkost, množství prachu v ovzduší, apod.). Kromě subjektivních pocitů existují také normy a předpisy, ve kterých jsou zakotveny limitní hodnoty jednotlivých složek mikroklimatu. Hodnocením i úpravou kvality prostředí se zabývá technika prostředí.

Vzduchotechnická (především klimatizační) zařízení jsou v dnešní době součástí většiny staveb. Zajišťují v budovách správné hodnoty mikroklimatu a tím vzniká i příjemný pocit spokojenosti. Pro správnou funkci klimatizačních zařízení je nutný už pečlivý návrh, nejlépe během projektování stavby. Důležitá je dostupnost všech součástí, u kterých je nutná kontrola a údržba. Naprostou nutností je odvod kondenzátu, který by se mohl stát vhodným prostředím pro množení mikrobů. Při volbě součástí klimatizačních zařízení je důležitý výběr filtrů, doporučuje se také použití parního zvlhčovače namísto sprchovací komory a součástí využívajících suché metody.

Stále se rozvíjející technické možnosti znamenají rychlý rozvoj a rozšiřování vzduchotechnických zařízení. To s sebou přináší rizika přemnožení mikroby. Vysoká koncentrace mikroorganismů ve vnitřním prostředí působí negativně dvojím způsobem. Jednak mikrobi ohrožují zdraví člověka, dále mohou způsobit znehodnocení materiálů, neboli mikrobiální korozi. Mezi mikroorganismy se řadí bakterie, plísně a viry. Do interiéru se mikrobi dostávají různými cestami. Vzduchotechnická zařízení se stávají zdrojem zamoření v případě nesprávného návrhu nebo provozu, proto je nutné tato zařízení správným způsobem udržovat. Filtry je třeba pravidelně čistit a vyměňovat, stejně tak je třeba pravidelně měnit vodu v nádržkách zařízení pro úpravu vlhkosti vzduchu. Hlavním požadavkem správného provozu je zamezení kondenzace vodní páry v součástech klimatizačních zařízení a na povrchu stěn. To se týká především potrubní techniky, kde může vodní pára kondenzovat nepozorovaně po dlouhou dobu. Příčinou kondenzace vodní páry jsou tepelné mosty, které se odstraní zajištěním dostatečné tepelné izolace. Pro zamezení zvýšené koncentrace mikrobů v interiéru je nutná také samotná bytová a osobní hygiena.

Ve vzduchotechnických zařízeních jsou z nejčastěji se vyskytujícími nebezpečné bakterie *Legionella pneumophilla* nebo *Staphylococcus aureus*, nebezpečnými plísněmi jsou *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* a *Cryptococcus neoformans*. Zdraví člověka ohrožují především spory těchto plísní. Velmi běžně se vyskytují původci běžných onemocnění (rýma, nachlazení). Důsledky napadení organismu závisí na druhu mikroba a jeho koncentraci a mohou vést od mírných a běžných onemocnění, přes alergie, až k životu nebezpečným chorobám.

S rozvojem technologických možností se rozvíjí také možnosti detekce mikrobů v prostředí. Materiály napadají zpravidla společenstva mikrobů v symbióze s vyššími rostlinami nebo i živočichy. Procesu biokoroze lze zabránit odstraněním vlhkosti z materiálu a udržováním jejich čistého povrchu. Při stavbě nové budovy je třeba zajistit dostatečné odvětrání a proschnutí, nedoporučuje se dokončování staveb a stavebních úprav v zimním období, jinak hrozí vznik plísní.

V případě rozšíření mikrobů v interiéru jsou známy možnosti jejich odstranění. Především se jedná o dezinfekci a sterilizaci, lze je provádět fyzikálními nebo chemickými metodami, základní požadavky na tyto metody jsou vysoká účinnost při malém množství a zdravotní nezávadnost. Sterilizace je narozdíl od dezinfekce účinná i proti sporám a velmi odolným mikrobům. Pro odstranění mikrobů ze stěn je nutné nejdříve mechanické očištění povrchu stěny a odstranění příčiny rozvoje mikrobů. Povrchy se pak chrání vhodnými fungicidními přípravky.

Vzduchotechnická zařízení zajišťují lidem správné a příjemné pracovní i obytné prostředí. Aby tato zařízení správně plnila svou funkci, je třeba dodržovat doporučení pro provoz a projekci uvedené v této práci.

10 Seznam použité literatury

- [1] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. 1.vydání. Brno : Ediční středisko VUT, 1991. 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [2] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí* [online] Brno, 2009 [cit. 2010-03-18]. Dostupné z: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/SylabyTP4.pdf>>
- [3] GEBAUER, Günter; RUBINOVÁ, Olga; HORKÁ, Helena. *Vzduchotechnika*. 2.vydání. Brno : ERA, 2007. 262 s. ISBN 978-80-7366-091-8.
- [4] JOKL, Miloslav . *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. 1.vydání. Praha 2 : Academia, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
- [5] WASSERBAUER, Richard. *Biologické znehodnocení staveb*. 1.vydání. Praha : ARCH, 2000. 257 s. ISBN 80-86165-30-2.
- [6] Pracujete ve zdravém prostředí? Měření oxidu uhličitýho v budovách. *TLAKinfo* [online]. 2009-08-10, [cit. 2010-04-10]. Dostupné z: <<http://www.techportal.cz/4/1/pracujete-ve-zdravem-prostredi-mereni-oxidu-uhliciteho-v-budovach-cid220015/>>.
- [7] LAJČÍKOVÁ, A. Syndrom nemocných budov – Sick Building Syndrome (SBS). *Předneseno na konzultačním dnu OS FFTP CPL*. 2006-02-16, [cit. 2010-02-28]. Dostupné z: <http://www1.szu.cz/chpnp/pages/education/syndrom_nemocnych_budov.pdf>.
- [8] TŮMA, Jan. *Domácí klimatizace a čističky vzduchu*. 2.vydání. Brno : ERA, 2008. 82 s. ISBN 978-80-7366-126-7.
- [9] OCHRANA, Ladislav. *Kotle a výměníky tepla*. 1.vydání. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 85 s. ISBN 80-214-2847-3.
- [10] ÚŘEDNÍČEK, Radek. *Projekt získávání tepla z odpadní vody budov U5*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta, 2007. 95 s. Diplomová práce. Dostupné z: <https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=5330>.
- [11] OSTREZI, Jakub. *Tepelné výměníky a problematika jejich zanášení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vojtěch Turek
- [12] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 3. přepracované vydání. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [13] VOTAVA, Miroslav. *Lékařská mikrobiologie obecná*. 2. přepracované vydání. Brno : Neptun, 2005. 351 s. ISBN 80-86850-00-5.

- [14] VOTAVA, Miroslav. *Lékařská mikrobiologie speciální*. 1. vydání. Brno : Neptun, 2003. 495 s. ISBN 80-902896-6-5.
- [15] ROSYPAL, Stanislav. *Biologie bakterií*. 1.vydání. Praha 1 : Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1979. 344 s.
- [16] LUO, Y-H., et al. Streptococcal Pyrogenic Exotoxin B Antibodies in a Mouse Model of Glomerulonephritis. *Kidney international* [online]. 2007, 72, [cit. 2010-03-30]. Dostupné z: <<http://research.ncku.edu.tw/re/articles/e/20090410/1.html>>.
- [17] MALÍŘ, František; OSTRÝ, Vladimír. *Vláknité mikromycety (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka*. 1.vydání. Brno : Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. 349 s. ISBN 80-7013-395-3.
- [18] ŠROUBKOVÁ, Eva. *Technická mikrobiologie*. 1.vydání. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. 149 s. ISBN 80-7157-226-8.
- [19] *UW-Madison* [online]. 2008-11-19 [cit. 2010-03-30]. University communications. Dostupné z: <<http://www.news.wisc.edu/newsphotos/index.html>>.
- [20] *N.E.M Business Solutions : Specialisté na systémy pro potravinářský průmysl CIP* [online]. 2002 [cit. 2010-03-30]. NEM. Dostupné z: <<http://www.cip.ukcentre.com>>.
- [21] *U.S. Department of energy* [online]. 2010 [cit. 2010-03-30]. *Aspergillus niger* v3.0. Dostupné z: <<http://genome.jgi-psf.org/Aspni5/Aspni5.home.html>>.
- [22] LEDEREROVÁ, Jaroslava. *Biokorozní vlivy na stavební díla*. 1.vydání. Praha : Silikátový svaz, 2009. 273 s. ISBN 978-80-86821-50-4.
- [23] *Clinical Laboratory Medicine* [online]. 2009 [cit. 2010-03-30]. Microbiology. Dostupné z: <<http://217.16.54.49/jps/legionella.jpg>>.
- [24] JULÁK, Jaroslav. Mikrobiální koroze kovů. *časopis Vesmír* 80. 2001-04, 2001, č.4, s. 206-208. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <<http://www.vesmir.cz/clanek/mikrobialni-koroze-kovu>>.
- [25] ČERVENKOVÁ, Andrea. *Bakteriální degradace polyethylenu s prooxidanty*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta. 2007. 83 s. Diplomová práce. Dostupné z: <https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=5315>.
- [26] CACCIARI, I., et al. Isotactic polypropylene biodegradation by a microbial community: physicochemical characterization of metabolites produced. *Applied and environmental microbiology*. 1993-11, 59, 11, s. 3695-3700. Dostupné z: <<http://aem.asm.org/cgi/reprint/59/11/3695.pdf>>. ISSN 1098-5336.

11 Seznam použitých symbolů

Značka	Jednotka	Název
a_v	$[\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}]$	objemová aktivita
a_w	$[\%]$	součinitel hygroskopické rovnováhy
c	$[\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	koncentrace aerosolu v ovzduší
d	$[\text{m}]$	délka částice
E	$[\text{V} \cdot \text{m}^{-1}]$	intenzita elektrostatického pole
i	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}]$	měrná entalpie vlhkého vzduchu
k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
L_p	$[\text{dB}]$	hladina akustického tlaku
m_p	$[\text{kg}_w]$	hmotnost vody v různých skupenstvích
m_{SV}	$[\text{kg}_{\text{SV}}]$	hmotnost suchého vzduchu
p	$[\text{Pa}]$	tlak
p_b	$[\text{Pa}]$	barometrický tlak
pH	$[-]$	vodíkový exponent
p_p	$[\text{Pa}]$	tlak páry
p_p''	$[\text{Pa}]$	tlak syté vodní páry
ppm	$[-]$	poměr částic
Q	$[\text{W}]$	tepelný tok
S	$[\text{m}^2]$	plocha
T	$[\text{K}]$	termodynamická teplota
t	$[\text{°C}]$	teplota
t_e	$[\text{°C}]$	teplota exteriéru
t_i	$[\text{°C}]$	teplota interiéru
t_a	$[\text{°C}]$	teplota vzduchu
t_M	$[\text{°C}]$	teplota mokrého teploměru
t_o	$[\text{°C}]$	operativní teplota
t_r	$[\text{°C}]$	radiační teplota
t_R	$[\text{°C}]$	teplota rosného bodu
U	$[\text{V}]$	napětí
V	$[\text{m}^3]$	objem
v	$[\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$	měrný objem
v_a	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost proudění
x	$[\text{kg}_w \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}]$	měrná vlhkost
x_p	$[\text{kg}_w \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}]$	měrná vlhkost nenasyceného vzduchu

ρ	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota
ρ_p	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota páry
ρ_p''	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota syté vodní páry
φ	$[\%]$	relativní vlhkost
Φ	$[\text{kg}_w\cdot\text{m}^{-3}]$	absolutní vlhkost

12 Seznam obrázků

Obr. 3.1: Zdroje příjemných odérů v interiéru; „převzato z [4]”	12
Obr. 3.2: Zdroje nepříjemných odérů v interiéru; „převzato z [4]”	12
Obr. 3.3: Vnímání různých kmitočtů lidským sluchem; „převzato z [4]”	15
Obr. 6.1: Porovnání velikosti bakterií a virů s jinými mikroskopickými částicemi; „převzato z [4]”	25
Obr. 6.2: Streptokokové exotoxiny; „převzato z [16]”	26
Obr. 6.3: Životní cyklus mikromycet na vlhkém zdivu; „převzato z [5]”	27
Obr. 6.4: Růst vybraných mikromycet v závislosti na teplotě; „převzato z [5]”	28
Obr. 6.5: Chřipkový virus; „převzato z [19]”	29
Obr. 6.6: Schéma vzniku astmatu; „převzato z [4]”	30
Obr. 6.7: Bakterie <i>Staphylococcus aureus</i> ; „převzato z [20]”	32
Obr. 6.8: Plíseň <i>Aspergillus flavus</i> se sporami; „převzato z [5]”	32
Obr. 6.9: Plíseň <i>Aspergillus niger</i> ; „převzato z [21]”	33
Obr. 6.10: Bakterie <i>Legionella pneumophila</i> ; „převzato z [23]”	33
Obr. 6.11: Spory plísně <i>Alternaria alternata</i> ; „převzato z [5]”	34
Obr. 7.1: Oblasti budovy s největší aktivitou biodegradačních činitelů; „převzato z [5]”	37
Obr. 7.2: Schéma střechy s vyznačenými místy započetí biodegradace nitrifikačními bakteriemi; „převzato z [5]”	38
Obr. 7.3: Nedegradovaný osinkocementový vzorek, zvětšení 1300x; „převzato z [5]”	40
Obr. 7.4: Degradovaný osinkocementový vzorek působením nitrifikačních bakterií, zvětšení 1300x; „převzato z [5]”	40
Obr. 7.5: Schéma tvorby kyselin bakteriemi a jejich vliv na degradaci kamene; „převzato z [5]”	41
Obr. 7.6: Detail povrchu historického kamene (zvětšení 2500x): bakterie a hyfy mikromycet; „převzato z [5]”	41
Obr. 7.7: Schéma biodegradace polymerů; „převzato z [25]”	43
Obr. 8.1: Schéma zařízení na sterilizaci vzduchu; „převzato z [4]”	47
Obr. 8.2: Působení fungicidní aktivity <i>antimykotika nystatinu</i> na plíseň <i>Aspergillus flavus</i> ; „převzato z [5]”	48

13 Seznam tabulek

Tab. 3-1: Posuzovací stupnice teploty prostředí PMV; „podle [3]“	11
Tab. 3-2: Výpočtová vnitřní teplota, relativní vlhkost vzduchu a teplota rosného bodu ve vytápěných místnostech; „podle [4]“	17
Tab. 3-3: Kategorie znečištění vnitřního ovzduší bakteriemi; „podle [4]“	17
Tab. 3-4: Kategorie znečištění vnitřního ovzduší sporymi plísní; „podle [4]“	17
Tab. 6-1: Minimální úroveň a_w pro klíčení a růst některých druhů mikromycet; „podle [5]“	28
Tab. 6-2 Typy extrémofilů; „podle [5]“	29
Tab. 6-3: Výskyt a koncentrace mikrobů v ovzduší; „podle [4]“	30
Tab. 6-4: Místa výskytu plísní v bytech v testované konstrukční sestavě; „podle [5]“	35
Tab. 8-1: Účinek chemicky aktivních látek na mikroorganismy; „podle [5]“	46

14 Seznam příloh

- Mollierův i-x diagram
- CD s elektronickou verzí BP

Příloha: Mollierův i-x diagram

