

## 6. BIODETERIORACE

Biodeteriorací je míněna každá nežádoucí změna vlastností technického materiálu, která je způsobena životní činností nižších organismů. Organismy, které působí negativně na materiály, bývají označovány souborně jako biologičtí degradační činitelé, agresivní organizmy nebo *biodeteriogeny*.

Biodeteriogen je tedy organismus působící biodeterioraci (biodegradací). Za *mikrobiodeteriogeny* jsou pokládány agresivní bakterie a houby a za *makrobiodeteriogeny* můžeme označit některé druhy hmyzu, obratlovců a další skupiny mnohobuněčných živočichů.

### 6.1 Mechanismus deteriorace

V procesu biologické degradace se uplatňuje biodeteriogen jako aktivní a materiál jako pasivní složka vzájemné koexistence. Znehodnocení materiálů biodeteriogeny může mít charakter:

- *mechanického poškození*, které může být způsobeno snahou biodeteriogenu využít technický materiál jako zdroj potravy. Takto způsobené mechanické poškození může být vratného i nevratného charakteru.
- *znečišťování povrchu*, při kterém nemusí docházet bezprostředně k znehodnocování materiálu nebo funkčního prvku. Obvykle se projevuje jen omezenou použitelností (např. "fouling" lodních trupů společenstvy mořských organismů), nebo zhoršeným estetickým vzhledem (růst plísní pod krytem zařízení).
- *chemických procesů* které mohou projevovat jako:

asimilační - poškozovaný materiál je hlavním zdrojem potravy biodeteriogenu. Z oblasti makrobiodeteriorace lze do této kategorie zařadit žíry termitů na dřevě. Prvotním symptomem na napadeném dřevě je sice mechanické poškození, ale dřevní hmota je současně pro termity hlavním zdrojem potravy.

disimilační - biodeteriorace je sice vůdčím degradačním jevem, ale materiál není hlavním zdrojem potravy (prorůstání optiky plísněmi).

Biodeteriorace je výsledkem děje, ve kterém lze rozlišit tyto etapy:

*Infestace* (v případě makrobiodeteriorace) nebo *infekce* (v případě mikrobiodeteriorace). Je to etapa, v níž dochází k navození styku mezi biodeteriogenem a materiálem.

*Inkubace* je fáze od infestace (infekce) až do období, ve kterém se stanou projevy biodeteriorace zjevnými, respektive. až do doby, kdy dojde k technicky významnému poškození materiálu.

*Manifestace* je fáze, v níž jsou projevy biodeteriorace jasně zjevné a představují technicky významnou degradaci.

Biodeteriogenese je dynamický děj, ve kterém jednotlivé etapy na sebe navazují plynule a toto dělení je často možné uplatnit jen formálně. Má však praktické dopady. Máme-li zabránit škodám na materiálu (funkčním prvku, přístroji či zařízení), který se ocitl v exponovaném prostředí, aniž by byl preventivně chráněn proti biologické degradaci, je rozhodující, aby začínající biodeteriorace byla včas identifikována. Důležité je odhadnutí pravděpodobného průběhu možno již ve stadiu infestace (infekce) a to nejspíše podle výskytu biodeteriogenů a podle podmínek prostředí, nebo aby biodeteriorace byla rozpoznána alespoň ve stadiu ranné inkubace.

Charakter biodeteriorace je dán vzájemným působením biodeteriogenů a materiálu. Z tohoto pohledu je jiný mechanismus degradace vyvolaný makrobiodeteriogeny a jiný mikrobiodeteriogeny.

#### 6.1.1 Makrobiální degradace

Pro degradaci vyvolanou makrobiodeteriogeny je typické mechanické poškození materiálu. Největší skupinou živých organismů způsobujících znehodnocení tohoto typu je hmyz (Insecta). S jejich negativním působením se setkáváme hlavně v obalové technice. Tak např. Pilous černý (*Calandra granaria*) je schopen proděravět obaly z polyethylenu až do tloušťky 100  $\mu\text{m}$  a byly zjištěny případy, že zničil i obalový materiál kombinovaný z polyethylenu a 25  $\mu\text{m}$  hliníkové folie. Tesařáci, červotoči, krasci a další představitelé dřevokazného hmyzu dokážou ničit i jiné technické materiály (např. olověné pláště kabelů). Škody vznikají většinou náhodně. Zejména tehdy, jsou-li tyto materiály překážkou při vylézání ze dřeva po dokončení larválního vývoje.

V oblastech s průměrnou teplotou  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou největšími škůdci dřeva všekazi (termity). Je známo přes 2 000 druhů termitů a většina z nich se

živí dřevem, ať již živým nebo mrtvým. Dřevo je hlavní složkou jejich potravy. Ostatní materiály které termiti poškozují, jsou znehodnocovány jen mechanicky. V tropických oblastech existují rostliny, které jsou více či méně odolné proti termitům. Z našich dřev jsou všechna považována za neodolná. To je nutné vzít v úvahu při balení zařízení do tropických oblastí. Velká škodlivost termitů je dána jejich masovým výskytem.

Mezi obratlovci (Vertberata) je řada druhů, které mohou způsobit náhodné poškození technického zařízení. Jde o poruchy (např. zkratky) způsobené ptáky, plazy či ještěry. Vážnějšími škůdci technických materiálů, zejména plastických hmot jsou někteří hlodavci (Rodentia). Jsou to zejména krysy a potkani. Poškozují polyvinilchlorid, polyethylen, polyurethan, přírodní a syntetické kaučuky a další materiály. Vesměs jde o mechanické poškození.

### 6.1.2 Mikrobiální degradace

Mikrobiální degradace může být vyvolána:

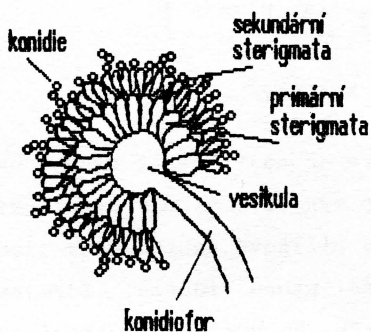
- houbami (jednoduché rostliny)
- bakteriemi (jednobuněčné organizmy).

Na mikrobiální korozi technických materiálů se podílejí převážně houby (technicky *plísně*). Plísně jsou bezchlorofylové saprofytické nebo parazitické rostliny. Jejich tělo tvoří stélka,

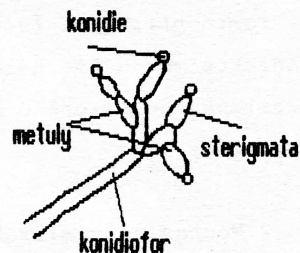
jež bývá obvykle vláknitá. Soubor houbovitých vláken (*hyf*) vytváří podhoubí (*mycelium*). Rozmnožování se děje rozrůstáním hyf a sporami, které vznikají vegetativním způsobem (nepohlavní spory), nebo spájením (pohlavní spory).

Hyfy zřetelně odlišené od ostatních se nazývají *konidiofory*. Ty bývají jednoduché, nebo větvené. Na konci konidioforu se tvoří *konidie* které vyrůstají buď přímo na konidioforu nebo na zvláštních lahvicovitých buňkách tzv. *sterigmatech* (obr. 63.). Často je konidiofor na konci kyjovitě zduřelý v tzv. *vesikul*

(obr. 64.). Nejsou-li pro plísně optimální životní podmínky, nevznikají konidie a na materiálu lze pozorovat pouze vlákna *mycelia*.



Obr. 63.  
Konidiální palička



Obr. 64.  
Rozvětvený konidiofor

Systematicky se houby dělí na:

- houby nižší (Phycomycetes)
- houby vyšší (Eumycetes)
  - podtřída houby vřeckovýtrusové (Ascomycetes)
  - podtřída houby stopkovýtrusové (Basidiomycetes)
- houby nedokonalé (Fungi imperfecti)
- lišejníky (Lichnes)

Je známo na 10 000 druhů hub. Jen některé jsou technicky významné. Jako škůdci materiálů přicházejí v úvahu určité druhy z čeledi Mucoraceae (např. druhy z rodu *Rhizopus*), z podtřídy hub vřeckovýtrusových hlavně druhy z rodu *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, ze skupiny hub nedokonalých druhy z rodu *Cladosporium*, *Alternaria*, *Trichoderma*, *Monilia*, *Fusarium*. V tab. 32 [22] jsou uvedeny základní směsy plísňových kultur včetně jejich účinků na materiály.

Druh plísni	Působí na
<i>Aspergillus niger</i>	řadu materiálů
<i>Aspergillus terreus</i>	plasty
<i>Aureobasidium pullulans</i>	laky
<i>Paecilomyces varioti</i>	plasty, kůže
<i>Penicillium funiculosum</i>	textil
<i>Penicillium ochr-chloron</i>	plasty, textil
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	pryže
<i>Trichoderma viride</i>	celulóza, plasty

Tab. 32. Základní plísňové kultury

Plísně jsou v přírodě značně rozšířeny a lze je najít téměř všude, na velmi kyselých substrátech i na podkladu, který vykazuje vysoký osmotický tlak. Velkým zdrojem plísni je zemina. Příčinou plísňové kontaminace jsou v tomto případě prachové částičky, které roznášejí proud vzduchu. Zdrojem infekce mohou být hlodavci a hmyz. Velmi nebezpeční jsou roztoči, kteří se dostanou do otvorů o průměru 25  $\mu$ m. Infekci plísněmi lze způsobit i dotykem ruky.

## 6.2 Mechanismus mikrobiální degradace

V průběhu svého života produkují plísně různé zplodiny látkové přeměny. Produkty této látkové výměny se mohou podílet na štěpení nosného podkladu (substrátu). Některé produkty látkové výměny (*metabolity*) vybraných plísni jsou v tab. 33. [22]. Látky uvolněné metabolity ze substrátu jsou

zpětně využívány plísněmi ke stavbě těla a k získávání energie.

Mikroorganismus	Vylučovaný metabolit
Aspergillus niger	kyselina citronová, gallová
Penicillium oxalicum	kyselina šťavelová
Mucor rouxii	kyselina jantarová
Rhizopus nigricans	kyselina mléčná, fumarová
Trichoderma viride	antibiotika viridin, glitoxin

Tab. 33. Příklady některých produktů látkové výměny plísní

Tělo plísňových organismů je tvořeno z největší části z vody. V té se mohou rozpouštět nečistoty usazené na povrchu, nebo látky uvolněné působením plísní na substrát. Vzniká tak elektrolyt, který může být u kovů příčinou *mikrobiální koroze*. Nezanedbatelné je rovněž to, že plísně svými životními pochody mění mikrorelief povrchu materiálu a tím vytváří podmínky pro rozvoj adsorbčních procesů.

Mycelium prorůstající povrch izolantů zhoršuje izolační stavy a může být příčinou i zkratů a povrchových výbojů. Klíčení plísní uvnitř zařízení se může projevit zhoršenou funkcí zařízení. Mycelium je příčinou poleptání, ztrátou lesku a transparentnosti materiálu. Plísně mohou způsobit i estetické škody, neboť kazí vnější vzhled a jsou často původcem zápachu, který vzniká při jejich růstu.

#### 6.2.1 Vliv prostředí na mikrobiální degradaci

Při hodnocení vzniku a průběhu mikrobiální koroze je nutné přihlížet k podmínkám prostředí a všimnout si podmínek, které panují bezprostředně po styku materiál - biodeteriogen. Zatímco makroklima ovlivňuje globální existenci biodeteriogenů v daném prostředí, mikroklima může bezprostředně ovlivnit infestaci materiálu určitým specifickým biodeteriogenem.

Podnebí má rozhodující vliv na rozšíření mikroorganismů. Zatímco některé druhy můžeme najít všude (ubikvisti), rozšíření jiných druhů je ohraničeno a to jak klimatickými faktory, tak faktory biotickými (vzájemné interakce).

Mikroorganismy se šíří převážně pasivně - větrem, vodou. Vedle pasivního přenosu je významný i přenos jinými mechanizmy, které jsou označovány jako vektory přenosu. Např. hmyz má zásadní význam pro vznik biokoroze působené plísněmi, protože přenáší spory i vegetativní formy mikroorganismů. Vedle pouhého přenosu může hmyz jako vektor spolupůsobit i znečištění materiálů (výkaly), které mohou být spouštěcím mechanismem infekce materiálu.

K infestaci materiálu může dojít ze zdroje, který je shodný s napadeným materiálem (*zdroj homologní*). Jako příklad mohou posloužit celulólytické plísňe ze dřeva na plastech, kde je jako plnivo použita dřevitá moučka).

V řadě případů však biodeteriogen nepochází ze zdrojů shodných s poškozeným materiálem (*zdroj heterologní*). Typický pro tuto skupinu je růst mikroorganismů na plastech, z nichž některé mají chemické struktury, které se v přírodě nevyskytují.

Při vzplanutí biokoroze se rozhodující měrou uplatňují mikroklimatické vlivy prostředí, protože mezi biodeteriogeny patří v mikrobní populaci obecně rozšířené mikroorganismy. Makroklima pak ovlivňuje existenci biodeteriogenů v daném prostředí a mikroklima (především teplota a vlhkost v bezprostředním okolí materiálu) ovlivní infestaci.

Při většině biodeteriorací se uplatňuje celý komplex biodeteriogenů, které se často vzájemně ovlivňují (*kolonie*). Tehdy je nutné registrovat vzájemnou interakci všech mikroorganismů osídlujících substrát, přičemž je zřejmé, že některé mikroorganismy jsou biodeteriogeny a jiné pouze členy specifického společenství bez vlivu na substrát.

*Teplota* má podstatný vliv na růst mikroorganismů. Může stimulovat růst, měnit morfologii, metabolismus i patogenitu mikroorganismů. Při zvyšování teploty dochází ke dvěma protichůdným efektům. Na jedné straně se vlivem teploty zrychlují metabolické reakce, na straně druhé stoupá po překročení růstového maxima inaktivace enzymů. Zrychlování (zpomalování) metabolických procesů je možno vyjádřit teplotním koeficientem  $Q_{10}$ . Tento koeficient vyjadřuje úroveň reakčních procesů při určité teplotě v porovnání s procesy, které probíhají při teplotách o 10 °C nižších:

$$Q_{10} = \frac{K + 10}{K} \quad (156)$$

kde  $K$  - konstanta optimálního růstu

Hodnota  $Q_{10}$  je při teplotách 18 až 22 °C mezi 3 až 4. Při vyšších teplotách klesá. Při zvyšování teploty nad maximum dochází nejdříve k degradaci dýchacího řetězce buňky a později její smrti.

Životní pochody mikroorganismů jsou zcela závislé na teplotě okolí. Plísňe mohou vegetovat jen v určitém biokinetickém teplotním rozmezí, které je vymezeno maximální a minimální hodnotou.

Minimální růstová teplota (podobně jako maximální teplota) je teplota, při níž je určitý druh mikroorganismu schopen růst a množit se. Většina mikroorganismů dobře roste při teplotách 10 až 15 °C. Některé bakterie a plísně mohou růst i při záporných teplotách, je-li bod zmrznutí substrátu snížen. Klesne-li teplota pod minimální mez, růst mikroorganismu se zastaví a dříve nebo později dojde k odumírání vegetativních částí, (zatímco spory mohou přežívat i při velmi nízkých teplotách). Minimální růstová teplota se mění v závislosti na prostředí pH.

Nejlépe probíhá růst a vývoj plísně v optimálním teplotním rozmezí. Toto teplotní rozmezí se pro většinu plísní pohybuje zhruba v rozmezích od 25 do 35 °C. Aspergilly mají o něco vyšší teplotní optimum než *Penicillia* a *Fungi imperfecti*. Při nižší než optimální teplotě se růst zpomaluje, a to tím více, čím je teplota bližší minimální růstové teplotě.

Maximální růstová teplota označuje teplotu, při které ještě bez ohledu na dobu trvání probíhá růst a množení. Maximální teploty, při níž některé plísně ještě rostou, je teplota zhruba 45 °C. Přesáhne-li teplota toto maximum, plísně odumírají. I v tomto případě jsou spory odolnější proti vyšším teplotám než mycelium. Odolnost spor proti vyšším teplotám je však do značné míry ovlivněna stupněm jejich vyschnutí. V suchém stavu mohou spory přežít i teplotu kolem 100 °C. Tytéž spory, které přežily vliv vysoké teploty a sucha, bývají při téže teplotě a vysoké vlhkosti v krátké době zničeny. Jednotlivé kmeny plísní se mohou do určité míry vyšší nebo nižší teplotě přizpůsobovat. Kyselé nebo alkalické pH působí při maximálních teplotách inhibičně.

Voda je hlavní složkou buněk plísní. Ve vodě probíhají procesy jejich látkové výměny, jako je přijímání živin a odstraňování odpadních produktů. Růst a vývoj plísní je proto výrazně závislý na množství vody v prostředí, která je obklopuje.

Pro růst plísní je rozhodující relativní tenze vodních par ve vzduchu, zatímco skutečný obsah vodních par ve vzduchu má podřadný význam. Tento poznatek vyplývá z procesu přijímání vody buňkami. Je-li v protoplazmě rostlinných buněk nižší obsah vlhkosti než v okolním vnějším prostředí, vytvoří se mezi buňkou a vnějším prostředím vlhlostní spád, směřující k vyrovnání obsahu vody v obou prostředích. Hybnou silou pohybu molekul vody z vnějšího prostředí do prostředí buněk je právě stupeň nasycení vnějšího prostředí vodními parami.

Nároky různých druhů plísní na obsah vlhkosti prostředí jsou různé. Vzhledem k tomu byly mikroorganismy rozděleny na hydrofilní, mezofilní a xerofilní. Každá z těchto skupin se vyznačuje charakteristickou růstovou křivkou. U *hydrofilních a mezofilních druhů* dochází k maximálnímu růstu

při relativní vlhkosti 100 %. S poklesem relativní vlhkosti růstové křivky hydrofilních mikroorganismů prudce klesají. U mezofilních mikroorganismů bývá pokles pozvolný, přičemž v některých případech klesá intenzita růstu teprve při hodnotách relativní vlhkosti nižších než 95 %. U xerofilních druhů nastává maximální růst při relativní vlhkosti asi 95 %, kdežto při 100 % relativní vlhkosti dochází ke zřetelnému poklesu růstu. S poklesem relativní vlhkosti pod 95 % intenzita růstu prudce klesá.

Jiná klasifikace dělí mikromycety na *tonofilní* a *netonofilní*. Tonofilní kmeny mají podle této klasifikace optimum při 70 až 90 % relativní vlhkosti, slabě rostou při 60 %, nerostou či jen velmi slabě při 100 % relativní vlhkosti. Netonofilní kmeny mají optimum při 95 až 100 % relativní vlhkosti.

Významnou roli pro existenci mikroorganismu (zejména při kolísání relativní vlhkosti) hraje vlhkost obsažená v substrátu. Ta umožňuje plísním do jisté míry překonat nepříznivý vliv přechodně nižší relativní vlhkosti ve vnější atmosféře. Požadavky mikroorganismů na obsah vody v substrátu se vyjadřují ve formě součinitele hygroskopické rovnováhy okolního prostředí  $a_w$ :

$$a_w = \frac{n M \Phi}{55,5} \quad (157)$$

kde  $n$  je počet iontů, které vzniknou z každé molekuly roztoku,  $M$  je molární koncentrace roztoku a  $\Phi$  je molární osmotický koeficient. Hodnota  $a_w$  vody je 1 a postupně klesá s rozpouštěním solí ve vodě. Na základě znalosti hodnoty  $a_w$  lze vyjádřit osmotický tlak:

$$\pi = -4,555 T \ln a_w \quad (158)$$

Vztah mezi  $a_w$ ,  $\pi$  a optimálními podmínkami pro růst plísní je v tab. 33.

$a_w$	$\pi$ (mPa)	podmínky růstu
0,989	1,5	permanentní vlhkost substrátu
0,89	15	limitní hodnota pro hydrofilní plísně
0,80	29,4	limitní hodnota pro mezofilní plísně
0,70	47	limitní hodnota pro xerofilní plísně

Tab. 33. Podmínky růstu plísní při 18 °C

Mikroorganismy rostou při  $a_w = 0 - 0,60$ . Baktérie vyžadují  $a_w = 0,99 - 0,93$ . Kvasinky vyžadují pro růst minimálně 0,91 - 0,88. Výjimku tvoří osmofilní kvasinka *Sacharomyces rouxi*, která roste při  $a_w = 0,7 - 0,75$  a *Aspergillus glaucus* i níže než 0,60.



Většina druhů plísňí znehodnocujících technické materiály patří do skupiny mezofilních mikroorganismů. Optimální relativní vlhkost se tedy pro většinu v úvahu přicházejících druhů pohybuje v rozmezí 95 až 100 %. S poklesem relativní vlhkosti pod optimální mez se růst plísňí zpomaluje, až se posléze úplně zastaví. Minimální relativní vlhkost, při níž ještě dochází k nepatrnému růstu, se pohybuje v rozmezí 90 až 70 %. Je závislá na druhu plísňí, na teplotě prostředí a charakteru živného substrátu. Při dalším poklesu relativní vlhkosti pod minimální mez porost vysychá, přičemž vegetativní části postupně odumírají, zatímco spory mohou přežívat i delší dobu ve vyschlém stavu.

Změny relativní vlhkosti jsou vyvolány obvykle teplotou. Ve svých účincích se teplota a relativní vlhkost navzájem ovlivňují, takže je třeba posuzovat působení obou činitelů na růst plísňí současně. Hranice vlhkostního minima se snižuje tím více, čím více se teplota blíží optimální hodnotě růstu. Čím déle trvá období s vysokou relativní vlhkostí, tím větší je obsah vody sorbované v materiálu, a tím více je potlačen vliv následujícího nepříhodného suchého období pro plísňový porost.

*Vliv slunečního záření* na růst a vývoj plísňí je závislý na vlnové délce záření, na době ozáření živném substrátu a druhu stáří mikroorganismů. Bylo zjištěno, že složky spektra slunečního záření mohou podporovat růst i vytváření morfologických změn v těle mikroorganismu, působí-li krátkodobě.

Déle trvajícím působením ultrafialové části spektra slunečního záření nepříznivě ovlivňuje životaschopnost plísňí. Nejcitlivější jsou buňky mladých kultur, jejichž buněčná blána obsahuje ještě málo pigmentu. Avšak i buňky s tmavou buněčnou blanou bývají dlouhodobým působením ultrafialových paprsků zničeny. Výrazně inhibiční účinek má i infračervená složka spektra, která porost i živný substát vysušuje a zahřívá nad optimální mez.

Bylo také prokázáno, že řada druhů plísňí vyžaduje v určitých stadiích svého vývoje střídání dne a noci, tj. osvětlení a tmy.

Vliv působení slunečního záření je sice studován, nedospělo se však dosud k takovým závěrům, kterými by bylo možno obecně postihnout významnost jeho vlivu. Zdá se však, že ve srovnání s teplotou a vlhkostí vzduchu, vliv slunečního záření není tak podstatný.

*Proudění vzduchu* působí na růst plísňí inhibičně. Především vysušuje navlhlé materiály, a to i tehdy, je-li vzduch vlhký. Dále pak znesnadňuje usazování spor na povrchu materiálů a mechanicky narušuje jejich klíčení

anebo poškozuje porost, který se vytvořil v obdobích, kdy proudění vzduchu neprobíhalo. Při zkouškách proudění vlhkého vzduchu na plesnivění materiálů se potvrdilo, že zkoušené materiály plesnivěly tím méně, čím rychleji vlhký vzduch proudil a čím delší dobu toto proudění trvalo. Inhibiční účinek proudícího vzduchu na plesnivění materiálů je uveden v tab. 34. [22]. Jak je zřejmé, nemůže se inhibiční vliv proudícího vzduchu podstatně projevit při rychlosti proudění vzduchu, která přichází v úvahu při obvyklé expozici technických materiálů.

Materiál	Rychlost proudění (m.s <sup>-1</sup> )	Doba proudění (h)
slabě plesnivějící	1,6	1 - 3
	0,75	6 - 12
silně plesnivějící	1,6	6 - 8
	0,75	18 - 24

Tab. 34. Inhibiční účinek proudění vzduchu

Nezbytným předpokladem pro růst plísni je živný substrát. Základními (biogenními) prvky, nezbytnými jak pro stavbu těla, tak pro získávání energie, jsou uhlík, dusík, síra fosfor a draslík. Dále jsou to hořčík, mangan, železo, zinek, sodík, vápník, kobalt a měď. Některé z nich jsou obsaženy v živném substrátu ve větším množství, jiné v nepatrném množství. Prvky přítomné ve stopových množstvích se dostávají do živného substrátu obvykle ve formě nečistot.

Zdrojem nezbytných složek pro výživu plísni, pro rozvoj jejich biochemických pochodů zajišťujících tvorbu biomasy jsou organické sloučeniny. Biochemický rozklad přírodních organických materiálů probíhá rychleji než rozklad syntetických organických. Přírodní materiály jsou pro plísně přirozeným substrátem jak z hlediska makrostruktury, tak co do molekulárního složení. Obsahují již hotové stavební kameny pro syntézu nové biomasy a ve vhodném složení i nezbytné minerály. Rozklad syntetických organických materiálů probíhá pomaleji, protože jsou strukturálně pevnější.

Tak např. čistá celulóza podléhá zcela mikrobiálnímu rozkladu. Mikroorganismy rostoucí na celulóze vytvářejí řadu metabolitů, z nichž některé, působí jako katalyzátory při hydrolýze celulózy. Při styku se vzdušnou vlhkostí nebo s kapalnou vodou, za přítomnosti enzymů, dochází k hydrolýze, při níž se slučuje jeden atom vodíku a jedna hydroxylová skupina s jednou základní skupinou C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub> a postupně tak vzniká glukóza, kterou využívají mikroorganismy ke stavbě těla a tvorbě energie.

Obdobně je rozkládán mikroorganismy ve vlhkém prostředí přírodní kaučuk. Po chemické stránce je to velmi složitý materiál, obsahující převážně uhlovodíky, ale i organické sloučeniny dusíku. Hydrolýzou uhlovodíků vznikají hexózy nebo pentózy a jejich oxidací sloučeniny kyselé povahy. Těchto produktů využívají mikroorganismy ke stavbě těla a tvorbě energie.

Syntetické materiály jsou mikroorganismy rozkládány obdobným způsobem jako např. molekuly celulózy. Tyto rozkladné procesy jsou ovšem daleko složitější a jejich chemizmy nejsou ještě dostatečně známy. Převážná většina syntetických materiálů je značně heterogenní soustava. Nelze proto jejich schopnost poskytovat plísním živiny charakterizovat jednotně. Tak např. u termoplastických materiálů záleží nejen na čisté pryskyřici, ale též na obsahu plnidel, změkčovadel, stabilizátorů, pigmentů apod. Zatímco čisté pryskyřice plísně zpravidla neprorůstají, přísady, především přírodní organická plnidla a změkčovadla, jsou bohatým zdrojem živin. U vrstvených tvrzených a lisovacích hmot s přírodními organickými plnidly velmi záleží na poměrném zastoupení pryskyřice a plnidla. Čím méně přírodního organického plnidla je v hmotě obsaženo a čím více je toto plnidlo prostoupeno dobře tvrzenou pryskyřicí, tím méně bývá materiál rozkládán. Podobně je schopnost nátěrových hmot poskytovat plísním živiny určována jejich složením. Nátěry na bázi rostlinných olejů a přírodních organických pryskyřic, bývají rozkládány zpravidla daleko více než nátěry na bázi syntetických organických pryskyřic. Všeobecně platí, že nátěry teplem tvrditelné, vytvářející tvrdý hladký film, jsou méně prorůstány než nátěry schnoucí na vzduchu.

Anorganické materiály neposkytují plísním žádný zdroj živin. Plísně však mohou růst na zbytcích organických látek, kterými bývá tento druh materiálu znečištěn a druhotně jej poškozovat svými metabolity.

Obecně platí, že jednotlivé kmeny plísní mají vzhledem ke své odlišné enzymatické činnosti různou schopnost rozkládat substrát a tedy i různou schopnost porůstat různé živné podklady. Tato fyziologická vlastnost se však do určité míry mění v závislosti na prostředí, v němž plísně žijí.

Na rozvoj mikrobiálního napadení má vliv i *kyselost prostředí*. Optimální koncentrace vodíkových iontů nutná pro růst mikroorganismů se pohybuje v rozmezí 4 až 10 pH. Baktérie většinou dávají přednost neutrálnímu pH a špatně snášejí pH pod 4 až 5. Existují výjimky. Sírné bakterie např. rostou při pH = 1.

Hodnota pH i šířka oblasti, ve které je možný růst určitého druhu bakterií, závisí na teplotě. Např. pro *Phacidium infestans* se optimální pH posunuje s teplotou následovně: 5 °C - 4 pH, 20 °C - 6 pH. Mnohé druhy plísní mají dvě různé optimální hodnoty pH. *Fusarium lycopersium* má jednu

optimální oblast mezi pH 4,5 - 5,3 a druhou mezi pH 5,8 - 6,8.

Rychlost změn pH prostředí je závislá na teplotě. Se zvyšující se teplotou k optimu postupuje rychleji i intenzita okyselení substrátu. Kyselá podmínky jsou běžné pro rod *Penicillium* nebo *Trichoderma viride*.

Samotné mikroorganismy mohou být příčinou změny pH prostředí. Změny jsou podmíněny jednak množstvím kyselin a zásad které plísně vylučují nebo pohlcují. Z hlediska mikrobiální koroze je tento ochranný metabolismus plísní velmi významný.

*Plynné složky atmosféry* jsou dalším faktorem ovlivňujícím existenci plísní. Podle vztahu ke kyslíku se dělí mikroorganismy na:

- obligátně aerobní
- obligátně anaerobní
- fakultativně anaerobní
- mikroaerofilní

Veškeré mikroorganismy které se podílejí na mikrobiální korozi, patří k obligátním aerobům, výjimečně k fakultativním anaerobům. Mikroorganismy tohoto typu získávají energii oxidací molekul substrátu za současné redukce molekulárního kyslíku.

Na pokles tenze O<sub>2</sub> nejsou mikroorganismy, zejména plísně, příliš citlivé. *Mucor* a *Fusarium* klíčí i při 0,01 % O<sub>2</sub>. Vyšší koncentrace O<sub>2</sub> nemá žádný negativní vliv. Teprve při 100 % koncentraci a vyšším tlaku se perioda přežití u některých plísní snižuje.

Koncentrace CO<sub>2</sub> okolo 30 až 40 % inhibují sporulaci plísní. Některé parazitické druhy plísní jako např. *Penicillium glaucum* nebo *Fusarium* jsou schopny dobře růst i při 80 % koncentraci CO<sub>2</sub>. Nízké koncentrace CO<sub>2</sub> mohou někdy stimulovat růst plísní.

Oxid siřičitý má výrazně inhibiční účinek na mikroorganismy. Sirovo-  
dík a amoniak je pro některé druhy bakterií dokonce zdrojem energie.

Na rozvoj mikrobiální degradace se v podstatné míře podílí i *mikrobní společenství (komunita)*, která se projevuje vzájemnou interakcí. Mezi stejnými členy společenství jsou interakce výměny metabolitů konstantní. Mezi rozdílnými mohou vznikat tyto základní typy interakcí (pozorováno na plstech):

*kompetitivní inhibice* - boj o živiny a místo

*antagonismus* - jsou vylučovány toxiny, kyseliny a další metabolické substance které mohou zastavit růst protikultury

*symbióza* - složky komunity využívají vzájemně zplodiny metabolismu

*metasymbióza* - postupný nástup populací na substrát

*neutralismus* - mezi členy společenství není žádná interakce.

Podle počtu populací ve společenství se rozeznává konkurence dvojná, trojná atd. Většinou jsou komunity z hlediska tohoto dělení neuplné a potom se dělí společenství na:

*dominanty* - mikroorganismy s dominantním postavením ve společenství

*asociaty* - mikroorganismy, jejichž existence je závislá na dominantech

*indiferenty* - mikroorganismy bez vztahu k ostatním členům společenství.

#### 6.2.2 Projevy plísňového znehodnocování

Plísňové napadení způsobuje u technických materiálů a zařízení:

- změnu barvy a ztrátu lesku nátěrů
- křehnutí a ztrátu mechanické pevnosti plastů
- zhoršování izolačního stavu izolantu a korozi kovů
- znemožňování funkce pohybových ústrojí zařízení.

Dominantním degradačním procesem v tomto výčtu je rezistence materiálu vůči plísňovému napadení. Technické materiály se z tohoto hlediska dělí na:

#### nepatrně plesnivějící

Materiály z této skupiny neslouží plísním jako zdroj živin. Plísně mohou růst jen na povrchových organických nečistotách a svými metabolity druhotně poškodit materiály. Do této skupiny je možno zařadit všechny or-

ganické materiály a některé syntetické organické materiály.

#### zčásti plesnivějící

Materiály této skupiny mohou plísně složitou cestou částečně rozkládat a tak získávat jednodušší sloučeniny potřebné ke své výživě. Do této skupiny je možné zařadit většinu syntetických organických materiálů.

#### zcela plesnivějící

Tyto materiály mohou plísně zcela nebo z velké části rozložit na jednodušší sloučeniny, které využívají ke své výživě. Do této skupiny je možno zařadit všechny polosyntetické organické a přírodní organické materiály.

Příklady odolnosti vybraných materiálů vůči plísním jsou v tab. 35.

Materiál	Odolnost materiálu		
	nepatrně plesniví	zčásti plesniví	zcela plesniví
polystyren	+		
polyizobutylen	+		
polymetakrylát	+	+	
polyetylen	+	+	
acetát celulózy		+	
polyesterová pryskyřice		+	
nitrát celulózy		+	+
polyuretanový kaučuk		+	+
glyptálová pryskyřice			+
přírodní kaučuk			+

Tab. 35. Odolnost vybraných materiálů vůči plísním.

Základní literatura k problematice biodeteriorace [5], [23].