Niszczenie materiałów technicznych przez drobnoustroje

*Beata Gutarowska**

Wprowadzenie

Pojęcie „biologii materiałów" jako nauki zajmującej się relacjami między materiałami a organizmami żywymi zostało po raz pierwszy zdefiniowane w 1935 r. przez prof. Bruno Schulze (1899-1968). Znacznie wcześniej jednak naukowcy dostrzegali fakt, iż organizmy żywe są przyczyną niszczenia drewna, papieru, wełny czy innych materiałów (Ludwik Paster, Robert Koch). Największy udział w tych procesach mają mikroorganizmy (bakterie, grzyby, glony). W okresie II wojny światowej w strefie klimatu tropikalnego podczas działań wojennych wojsk amerykańskich wykazano, iż skala mikrobiologicznego zniszczenia sprzętu wojskowego może być znaczna i zjawiska te zachodzą bardzo szybko. W latach 60-tych nastąpił burzliwy okres badań dotyczących niszczenia materiałów przez organizmy, który trwa do dziś. Wyniki badań naukowców zajmujących się procesami niszczenia materiałów technicznych przez organizmy (tzw. biodeterioracji) prezentowane są na sympozjach *Biodeterioration Society*, krajowych konferencjach nt. *Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*, publikowane w czasopismach *International Biodeterioration and Biodegradation* oraz *Biodegradation* i czasopismach branżowych.

Pierwszym polskim naukowcem, którego osiągnięcia w dziedzinie badań nad biodeterioracją materiałów wniosły ogromny wkład w naukę polską i światową był prof. Bronisław Zyska (1924-2006). Obudził on zainteresowania wielu polskich ośrodków naukowych tematyką zagrożenia biodererioracją i potrzebą ochrony materiałów technicznych przed tym zjawiskiem. Jest autorem licznych podręczników z dziedziny mikrobiologii materiałów, w tym ostatnich „Katastrofy, awarie i zagrożenia mikrobiologiczne w przemyśle i budownictwie" (2001), „Mikrobiologia materiałów" (2005), które cieszą się dużą popularnością.

Postęp w dziedzinie biodeterioracji materiałów, jaki dokonał się na przestrzeni ostatnich 70 lat w poznaniu mechanizmów oraz przyczyn niszczenia materiałów technicznych spowodował modyfikacje wielu technologii produkcyjnych. Opracowanie nowych technik badawczych pozwoliło przeprowadzić badania na poziomie najmniejszych struktur, badania metabolizmu, genetyki i fizjologii organizmów w środowisku materiałów, co ułatwiło interpretację zjawisk i możliwość prognozowania zmian materiałów pod wpływem aktywności życiowej organizmów.

Straty ekonomiczne

U podstaw zainteresowania tematyką biodeterioracji materiałów leżą ekonomiczne, ekologiczne i zdrowotne skutki niekontrolowanej działalności drobnoustrojów. W 1965 r. Eleonore H. Hueck van der Plas z Holandii po raz pierwszy dokonała oszacowania strat ekonomicznych powodowanych w świecie przez mikroorganizmy w materiałach technicznych. Stwierdziła, iż 2% materiałów ulega rocznie rozkładowi mikrobiologicznemu. W 1996 r. B.Zyska korzystając z wyliczeń Hueck van der Plas przedstawił wyniki dla terenów Polski, biorąc pod uwagę destrukcje tylko wybranych materiałów (tkanin, skóry, drewna, wyrobów celulozowo-papierniczych, produktów rafinerii ropy naftowej, farb i lakierów, włókien i tworzyw sztucznych, wyrobów z gumy, maszyn, aparatury elektrycznej, środków zielarskich, farmaceutycznych i kosmetycznych). Straty materiałowe wynosiły wówczas 900 mln zł. Straty w budownictwie stanowiły dodatkowo 56 mln zł, w rurociągach wodnych i gazowych koszty te sięgały wartości 128 mln zł. Łącznie wartość strat spowodowanych niszczeniem materiałów przez drobnoustroje wynosiła w 1996 r. około 1084 mln zł. Bardziej szczegółowa analiza przeprowadzona kilka lat później wskazała, iż straty te wynoszą rocznie około 2% produktu krajowego brutto (PKB). Obecnie przewiduje się, iż są to wartości znacznie wyższe niż przewidywano, sięgają około 5% PKB (10 907 mln zł). W oszacowaniu tych kosztów nie brano pod uwagę strat zabytków, zbiorów muzealnych oraz zagrożeń zdrowia i życia ludzi mieszkających lub pracujących w środowiskach porażonych przez drobnoustroje materiałów technicznych. Ponadto aktywność drobnoustrojów rozwijających się na materiałach, w surowcach i gotowych wyrobach podczas ich magazynowania, może skutkować w niebezpiecznych dla przemysłu awariach i katastrofach konstrukcji stalowych, betonowych, murowanych, również linii technologicznych. Są to więc kwoty i wartości, dla których warto podjąć działania.

Biodeterioracja materiałów technicznych przez drobnoustroje

Pojęcie biodeterioracja miało swój początek w procesach

odwrotnych niż obecnie stosowane, a mianowicie oznaczało zjawisko pozytywnego działania drobnoustrojów, które usuwały odpady i zanieczyszczenia ze środowiska, szczególnie pochodzenia naturalnego, takie jak tkaniny, skóry. Obecnie termin ten oznacza negatywne działania organizmów żywych, w tym również drobnoustrojów, na materiały techniczne zarówno pochodzenia naturalnego jak i syntetyczne. Jednakże procesy te bardzo ściśle są ze sobą powiązane, bowiem aktywność drobnoustrojów można traktować dwukierunkowo – ma ona charakter niszczący materiał, ale również może być w sposób kontrolowany wykorzystana do usuwania niepożądanych np. toksycznych składników ze środowiska. W tym rozdziale rozważana jest aktywność mikrobiologiczna wpływająca destrukcyjnie na materiały techniczne.

W biodeterioracji materiałów wyróżniamy kilka mechanizmów niszczenia: mechaniczne, rozkład, korozję wzbudzoną przez mikroorganizmy oraz obrastanie materiałów przez organizmy żywe - tworzenie biofilmów. Drobnoustroje odgrywają zasadniczą rolę w tych procesach, z wyj. mechanicznych uszkodzeń materiału, gdziebiorą udział głównie organizmy duże, takie jak gryzonie, ptaki, rośliny.

Powszechność występowania mikroorganizmów we wszystkich środowiskach naturalnych, ogromna ich liczebność, a przede wszystkim zdolność przystosowania się do warunków otoczenia oraz ogromny potencjał wytwarzanych metabolitów dały drobnoustrojom możliwość wykorzystania niemal wszystkich materiałów technicznych. W tabeli 1. przedstawiono przykłady różnych materiałów technicznych ulegających procesom rozkładu i korozji mikrobiologicznej. Tworzenie biofilmów na materiałach jest zjawiskiem powszechnym i występuje w każdym niemal środowisku pod warunkiem obecności wody.

Procesy rozkładu i korozji mikrobiologicznej związane są z metabolizmem drobnoustrojów zasiedlających konkretne materiały. O mechanizmie niszczenia decyduje rodzaj materiału technicznego, na którym rozwijają się drobnoustroje. Materiały pochodzenia organicznego, które mogą być wykorzystywane jako źródło węgla, azotu stymulują drobnoustroje do produkcji enzymów hydrolitycznych. Do takich materiałów należą drewno, skóra, włókna pochodzenia roślinnego i zwierzęcego (bawełna, wełna, jedwab), papier. Na tych materiałach w warunkach podwyższonej wilgotności drobnoustroje wytwarzają enzymy - celulazy, amylazy, proteazy. Mamy wtedy do czynienia z typowym rozkładem mikrobiologicznym, a materiał stanowi źródło pokarmu. Często wystarczy niewielka ilość materii organicznej np. na tapetach, płytach kartonowo-gipsowych aby zainicjować rozwój grzybów strzępkowych i doprowadzić do niszczenia materiałów wykończeniowych. Procesom tym towarzyszyć może wydzielanie do powietrza związków toksycznych – mikotoksyn (np. sterigmatocystyna, aflatoksyna), które łatwo wnikają do układu oddechowego i powodują wielokierunkowe zmiany chorobowe w organizmie człowieka. Już w latach 80-tych udowodniono, że ludzie mieszkający w domach zagrzybionych częściej chorują na białaczkę.

Również wiele materiałów pomocniczych np. kleje, smary, ciecze chłodząco-smarujące stosowane w wielu zakładach przemysłowych mogą stanowić łatwo przyswajalne źródło węgla i miejsce rozwoju drobnoustrojów. Materiały te tracą swoje właściwości fizyczne i stanowią zagrożenie dla zdrowia osób pracujących w ich otoczeniu.

Mikroorganizmy rozwijające się na materiałach nie tylko osłabiają cechy użytkowe materiałów np. wytrzymałość na rozciąganie, są przyczyną kruszenia, rozwarstwienia emulsji, ale również tracą swoją barwę lub zabarwiają się od barwników wytwarzanych przez komórki drobnoustrojów (znane są liczne drobnoustroje wytwarzające barwniki czerwone, żółte, pomarańczowe, czarne, itp.). Często zjawiskom tym towarzysz wydzielanie swoistych zapachów związanych z produkcją związków lotnych np. siarkowodoru, seskwiterpenów.

Przykładem ogromnych problemów związanych z rozwojem drobnoustrojów podczas wytwarzania materiału technicznego na etapie zakładu jest produkcja papieru. Papiernie borykają się z problemami rozwoju bakterii i grzybów z zamkniętych obiegach wodnych oraz na maszynie papiernicze. Skutkuje to w obniżeniu jakości papieru, a przede wszystkim w problemach produkcyjnych – zwiększeniem oporów maszyn, straty czasu technologicznego na skutek postojów maszyny papierniczej oraz strat w surowcach (drewno, makulatura, masy celulozowe) przechowywanych zbyt długo w nieodpowiednich warunkach. Drobnoustroje przysparzają również problemów w wielu technologiach już na etapie pozyskiwania surowca np. podczas zbioru lateksu z drzew kauczukowych, służącego do wyrobu gumy, czy na plantacjach bawełny. Słaba jakość surowca osłabia materiał końcowy, a mikroorganizmy wnoszone do kolejnych etapów produkcyjnych utrudniają proces.

Inną aktywnością drobnoustrojów jest wytwarzanie kwaśnych metabolitów, które są przyczyną korozji licznych materiałów technicznych o podłożu nieorganicznym. Do materiałów takich należą mineralne materiały budowlane – kamień, beton, cegła, zaprawy budowlane, szkło oraz metale i stopy, a także tworzywa sztuczne. Kwasy, głównie organiczne takie jak kwas szczawiowy, glukonowy, cytrynowy tworzą kompleksy z jonami Ca, Mg oraz innymi, powodując wypłukiwanie tych jonów z materiału i osłabianie ich struktury. Mechanizm niszczenia metalu polega głównie na zużywaniu

Tabela 1. Wybrane materiały techniczne ulegające rozkładowi i korozji mikrobiologicznej

Materiał techniczny	Przykłady drobnoustrojów niszczących materiał	Mechanizm niszczenia	Skutki niszczenia
Włókna i tkaniny naturalne pochodzenia roślinnego celulozowe (bawełna, len, konopie, juta)	*Bacillus, Cellulomonas, Cellvibrio, Clostridium, Cytophaga, Microbispora, Micromonospora, Pseudomonas, Sporocytophaga, Streptomyces Alternaria, Aspergillus, Chaetomium, Cladosporium, Epicoccum, Fusarium, Myrothecium, Penicillium, Rhodotorula, Stachybotrys, Trichoderma*	rozkład enzymatyczny	obniżenie wytrzymałości na rozciąganie, ubytki materiału, zmiana masy cząsteczkowej, przebarwienia, zapach
Włókna i tkaniny naturalne pochodzenia zwierzęcego białkowe (wełna, jedwab)	*Alcaligenes, Bacillus, Microsporum, Pseudomonas, Proteus, Streptomyces Acremonium, Alternaria, Aspergillus, Chaetomium, Cladosporium, Fusarium, Penicillium, Phoma, Torulopsis, Trichophyton*	rozkład enzymatyczny	obniżenie wytrzymałości na rozciąganie, ubytki materiału, zmiana masy cząsteczkowej, przebarwienia, zapach
Włókna i tkaniny syntetyczne (poliamidy, poliestry, polipropylen, poliakrylonitryl)	*Achromobacter, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Brevibacterium, Flavobacterium, Pseudomonas, Streptomyces Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Chaetomium, Fusarium, Paeciliomyces, Penicillium, Stachybotrys, Trichoderma*	rozkład enzymatyczny, korozja wzbudzona przez mikroorganizmy	zmiana masy cząsteczkowej, przebarwienia
Wyroby z drewna papier i wyroby papiernicze (tektura, tapety, płyty kartonowo-gipsowe, papier zabytkowy)	*Bacillus, Bacterioides, Cellulomonas, Cellvibrio, Clostridium, Cytophaga, Desulfovibrio, Escherichia, Eubacterium, Microbispora, Micromonospora, Propionibacterium, Pseudomonas, Sporocytophaga, Streptomyces Alternaria, Aspergillus, Candida, Chaetomium, Cladosporium, Epicoccum, Fusarium, Mucor, Myrothecium, Penicillium, Rhodotorula, Scopulariopsis, Stachybotrys, Trichoderma, Verticillium,* grzyby domowe	rozkład enzymatyczny	zmiany wytrzymałości, przebarwienia, zbrylenia, plamy, obniżenie pH, problemy podczas produkcji papieru (osady, biofilny, zrywanie wstęgi papieru)
Skóra, wyroby skórzane, pergamin	*Bacillus, Clostridium, Escherichia, Micrococcus, Pseudomonas, Staphylococcus, Streptomyces Aspergillus, Candida, Cephalosporium, Cladosporium, Fusarium, Mucor, Paeciliomyces, Penicillium, Rhodotorula, Scopulariopsis,Trichoderma, Verticillium*	rozkład enzymatyczny	kruchość, utrata elastyczności, zmniejszenie masy cząsteczkowej, plamy, przykry zapach
Materiały i powłoki malarskie	*Alcaligenes, Bacillus, Escherichia, Flavobacterium, Micrococcus, Pseudomonas, Proteus, Streptomyces Acremonium, Alternaria, Aspergillus, Candida, Cephalosporium, Cladosporium, Fusarium, Paeciliomyces, Penicillium, Rhodotorula, Trichoderma Scopulariopsis, Stachybotrys*	rozkład enzymatyczny	materiały malarskie – zmiana barwy, osady na dnie, rozwarstwienie emulsji, spadek lepkości, wydzielanie gazów, zapach powłoki malarskie – odpadanie, wybrzuszenia, zmiana barwy
Kauczuk i guma	*Aerobacter, Actinomyces, Azotobacter , Bacillus, Bacterium, Clostridium, Escherichia, Gordonia, Lactobacillus, Micrococcus, Moraxella, Mycobacterium, Nocardia, Propionibacterium, Proteus, Pseudomonas, Sarcina, Streptococcus, Streptomyces Aspergillus, Cladosporium, Epidermophyton, Helminthosporium, Fusarium, Microsporum, Monascus, Phialophora, Penicillium, Trichophyton*	rozkład enzymatyczny, korozja wzbudzona przez mikroorganizmy	trudności w otrzymywaniu lateksu: zmiana składu, zapach, koagulacja, w wyrobach gumowych wżery, ubytki, zmniejszenie wytrzymałości, kruszenie
Mineralne materiały budowlane (kamień, beton, cegła, zaprawy, szkło)	*Arthrobacter, Aureobacterium, Brevibacterium, Bacillus, Micrococcus, Nitrosocystis, Nitrosomonas, Nitrobacter, Methylobacterium, Staphylococcus, Thiobacillus Aureobasidium, Aspergillus, Alternaria, Botritis, Cladosporium, Chaetomium, Coniophora, Culvularia, Fusarium, Paeciliomyces , Penicillium, Phoma, Scopulariopsis, Serpula, Stemphyllium*	korozja wzbudzona przez mikroorganizmy, obrastanie powierzchni	kruszenie, pękanie, rozpad, rozpuszczanie, porastanie, naloty zmiany barwy, wżery, zmiany w przenikaniu ciepła, wilgoci
Metale i stopy	*Achromobacter, Aerobacter, Alcaligenes, Bacillus, Beggiatoa, Clostridium, Crenotrix, Desulfovibrio, Escherichia, Flavobacterium, Galionella, Micrococcus, Lactobacillus, Leptotrix, Proteus, Pseudomonas, Spherotilus, Streptococcus, Sulfobacillus, Sulfolobus, Vibrio. Aspergillus, Ceratostonella, Cladosporium, Fusarium, Hormoconis, Penicillium, Trichoderma*	korozja wzbudzona przez mikroorganizmy, obrastanie powierzchni	korozja powierzchni konstrukcji metalowych, wżery, ubytki, kruszenie, zapach, przebarwienia, osady, osłabienie wytrzymałości
Produkty naftowe (paliwa, oleje, smary, emulsje)	*Acinetobacter, Actinomyces, Aerobacter, Aeromonas, Alcaligenes, Bacillus, Brevibacterium, Clostridium, Desulfovibrio, Flavobacterium, Klebsiella, Leptotrix, Listeria, Micrococcus, Mycobacterium, Nocardia, Pseudomonas, Spherotilus, Sphingomonas, Staphylococcus. Acremonium, Alternaria, Amorphotheca, Aspergillus, Candida, Cephalosporium, Cladosporium, Chaetomium, Culvularia, Fusarium, Helmintosporium, Humicola, Paeciliomyces, Penicillium, Rhodotorula, Trichoderma*	rozkład enzymatyczny	obniżenie jakości, zmiana składu, zmiana barwy, wzrost drobnoustrojów na granicy faz woda- paliwo/ smar/olej w postaci osadów, kożucha, zapach, zapychanie filtrów podających paliwo, olej, korozja zbiorników magazynowych i urządzeń, tworzenie warstw zemulgowanych w strefie przydennej
Materiały elektroizolacyjne	*Acremonium, Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Cephalosporium, Cladosporium, Chaetomium, Fusarium, Giocladium, Paeciliomyces, Penicillium, Rhizopus, Scopulariopsis, Sporotrichum, Stachybotrys, Trichoderma*	korozja wzbudzona przez mikroorganizmyobrastanie powierzchni	zmiana przewodności elektrolitu, oporności materiałów, wytrzymałości dielektrycznej

wodoru katodowego przez bakterie redukujące siarczany, stymulacji anodowego roztwarzania metali i w konsekwencji do intensywnych procesów korozyjnych. W zeczywistości procesom korozyjnym towarzysz znacznie więcej mechanizmów niszczenia, wszystkie one wpływają na zwiększenie szybkości procesów elektrochemicznych i hemicznych, skutkiem czego jest korozyjna destrukcja w postaci wżerów, pęknięć ujawniających się często dopiero w omencie awarii konstrukcji. W procesach tych uczestniczą zarówno bakterie beztlenowe z rodzaju *Desulfovibrio* jak i ypowe tlenowce *Bacillus*, *Nitrosomonas*, *Micrococcus* oraz grzyby strzępkowe *Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Alternaria*.

Przykładem aktywności korozyjnej jest rozwój bakterii siarkowych na wilgotnych kamieniach. Drobnoustroje te wnikają do wnętrza kamienia nawet do 5 cm pod powierzchnia, a ich liczba dochodzi do $1{,}4\times10^6$ komórek/1g zniszczonego kamienia. Proces utleniania połączeń siarkowych prowadzi do produkcji kwasu siarkowego, którego stężenie może osiągać nawet 5%, w reakcji z wapniem wytwarzany jest siarczan wapnia (gips), związek ten krystalizuje na powierzchni kamienia i jest powodem powstawania twardej, nieprzepuszczalnej skorupy na powierzchni fasad budynków czy zabytkowych pomników. Skorupa ta z czasem odpada, a z warstwy spodniej wysypuje się piasek. Proces ten powtarza się aż do całkowitego zniszczenia kamienia.

Aktywność korozyjną drobnoustrojów można obserwować również w zbiornikach przechowujących produkty naftowe. W tych wydawałoby się niesprzyjających dla drobnoustrojów warunkach – na granicy fazy woda/produkt naftowy (np. benzyny, olej opałowy) mogą rozwijać się bakterie, które zmieniają skład materiału, ale również są przyczyną korozji zbiorników.

Ochrona materiałów technicznych przed drobnoustrojami

Poznanie zjawisk biodeterioracji stało się podstawą do modyfikacji wytwarzania materiałów poprzez zwiększenie oporności na destrukcyjne działanie drobnoustrojów. W celu redukcji liczby drobnoustrojów z materiałów technicznych stosuje się metody fizyczne (UV, promieniowanie Rtg, gamma, wysoką temperaturę, pole elektryczne lub magnetyczne o dużym natężeniu, wysokie ciśnienie) oraz metody chemiczne, w których wykorzystuje się biocydy tj. związki o działaniu przeciwdrobnoustrojowym. Związki te stosuje się na gotowe materiały jako dezynfektanty, antyseptyki lub wprowadza na etapie wytwarzania materiału jako inhibitory biodeterioracji. Obecnie na rynku jest 350 związków chemicznych tzw. biobójczych dopuszczonych do wykorzystania w technologii produkcji materiałów technicznych (Dyrektywa 98/8/WE). Przykłady związków i ich wykorzystanie do produkcji materiałów technicznych przedstawiono w tabeli 2.

Biocydy prawidłowo zastosowane pozwalają na ograniczenie szkodliwego oddziaływania drobnoustrojów na materiały techniczne. Decyzja o aplikacji biocydu do materiału technicznego jest funkcją jego skuteczności, toksyczności dla człowieka i środowiska, biodegradowalności po okresie stosowania, chemicznej obojętności wobec materiału i technologii jego wytwarzania, przeznaczenia oraz ceny. Należy pamiętać, iż biocydy mogą być zastosowane, jeżeli są zarejestrowane, co oznacza iż przeprowadzono dla nich szczegółowe badania toksykologiczne, skuteczności działania wobec testowych drobnoustrojów i inne. Do chętnie stosowanych biocydów w ochronie materiałów technicznych należą obecnie związki srebra, ditlenek tytanu, czwartorzędowe sole amoniowe, Triclosan. Stosowanie biocydów do materiału technicznego w niektórych gałęziach przemysłu jest wręcz konieczne dla prawidłowego przebiegu procesu technologicznego np. podczas produkcji papieru, lub podczas przechowywania paliw, cieczy chłodząco-smarujących, materiałów malarskich.

W przypadku materiałów takich jak włókniny (wykończenia higieniczne) czy polimery należy ostrożnie rozważać czy dodatek biocydu jest rzeczywiście niezbędny. Czasem mimo spełnienia wszelkich wymagań ze strony producentów u użytkowników materiałów mogą występować reakcje uczuleniowe, ponadto pozostaje wciąż otwarte pytanie czy długotrwałe stosowanie biocydów nie doprowadzi do selekcji szczepów opornych, a chemizacja naszego otoczenia nie zniszczy reakcji obronnych organizmów wyższych.

Tabela 2. Wybrane biocydy stosowane do ochrony materiałów technicznych

Rodzaj biocydu	Zastosowanie
Bronopol	powłoki malarskie, włókna, skóry, gumy, włókna syntetyczne, konstrukcje murowane, płyny chłodząco-smarujące
Tlenek miedzi	drewno
Triclosan	powłoki malarskie, włókna, skóry, gumy, włókna syntetyczne
Srebro	powłoki malarskie, włókna, skóry, gumy, włókna syntetyczne, płyny chłodząco-smarujące
Czwartorzędowe sole amonowe	powłoki malarskie, włókna, skóry, gumy, włókna syntetyczne, konstrukcje murowane, płyny chłodząco-smarujące
Chlor, miedź	płyny chłodząco-smarujące

Wykorzystanie drobnoustrojów do usuwania związków niepożądanych dla środowiska

Drugi kierunek modyfikacji materiałów technicznych dąży do uzyskania materiałów nowej generacji łatwo ulegających degradacji np. materiałów odpadowych. Przykładem takich materiałów są polimery syntetyczne – polietylen, poliuretany, poliamidy, poliestry, które w postaci czystej są niedegradowane lub proces ten trwa dziesiątki czy setki lat. Nowej generacji polimery są układami składającymi się z polimeru syntetycznego i polimeru naturalnego. Przykładem takich kompozytów są polimery polietyleno-skrobiowe, polietyleno-celulozowe, elastomerowo-białkowe, poliwinylowo-skrobiowe. Szybsza biodegradacja takich układów polega na degradacji polimeru naturalnego przez aktywne drobnoustroje np. bakterie z rodzaju *Bacillus, Clostridium, Alcaligenes, Streptomyces* oraz grzyby *Aspergillus, Penicillium, Fusarium* i inne rodzaje. W wyniku rozkładu cukrów – skrobi, celulozy czy białek – keratyny, żelatyny kompozyt staje się znacznie osłabiony, powstają puste przestrzenie i część polimeru syntetycznego o zmniejszonej masie cząsteczkowej jest bardziej podatna na atak mikrobiologiczny. Dodatkową zaletą stosowania związków naturalnych obok ich całkowitej biorozkładalności (99% rozkładu do CO_2 i H_2O) jest ich łatwy dostęp oraz całkowita nietoksyczność. Ten kierunek badań jest bardzo aktualnym zagadnieniem, materiały polimerowe nowej generacji mają głównie zastosowanie do produkcji opakowań.

Skutki stosowania materiałów nierozkładalnych odczuwamy do dzisiaj, choćby na przykładzie azbestu wbudowanego w konstrukcje budynków czy zalegającego na wysypiskach zużytych wyrobów azbestowych, gdzie wciąż ma miejsce migracja włókien azbestowych o właściwościach rakotwórczych. Podejmowane są próby wykorzystania niektórych szczepów drobnoustrojów (*Aspergillus, Streptomyces, Lactobacillus*) do rozkładu materiałów azbestowych, tak aby nie stanowiły zagrożenia dla organizmów żywych.

Innym problemem jest wykorzystanie drobnoustrojów do rekultywacji zniszczonego środowiska np. metalami, węglowodorami aromatycznymi, pestycydami. Drobnoustroje wykorzystywane do bioremediacji – usuwania związków toksycznych izolowane są z odpadów przemysłowych, ścieków, kompostu oraz ekstremalnych środowisk np. hałd odpadowych z huty metali, z przepracowanych chłodziw. Charakteryzują się wysoką opornością na wysokie stężenia związków trujących, mają zdolność do wzrostu w tych środowiskach i rozkładu związków toksycznych.

Przykładem wykorzystania aktywności życiowej drobnoustrojów do usuwania związków niepożądanych dla środowiska i człowieka jest usuwanie odorowych związków lotnych przez zespoły mikroorganizmów tzw. biopreparaty. Szczególnie uciążliwe jest to zjawisko w hodowlach zwierząt (drobiu, świń) oraz podczas kompostowania odpadów organicznych.

Zakończenie

Badanie biodeterioracji mikrobiologicznej jest ważnym zjawiskiem dla gospodarki, ze względu na trwałość materiałów technicznych, ale również zagrożeń zdrowotnych oraz ochrony środowiska. Każdy materiał techniczny ulegnie zniszczeniu w krótszym lub dłuższym czasie w wyniku działalności mikroorganizmów, zależy to tylko od warunków otoczenia, w którym się znajduje. Poznanie mechanizmów biodeterioracji, izolacja drobnoustrojów – sprawców tych procesów, poznanie ich aktywności metabolicznej w środowisku ich działania, jak również poszukiwanie nowych metod ochrony pozwoli nie tylko na zapobieganie procesom niszczenia, ale również wykorzystania tych samych organizmów do kontrolowanego usuwania związków niepożądanych ze środowiska.

Literatura

[1] Libudzisz Z., Kowal K., Mikrobiologia techniczna, tom II (2000) wyd. PŁ, Łódź

[2] Libudzisz Z., Kowal K., Żakowska Z., Mikrobiologia techniczna, tom. I i II (2008) wyd PWN, Warszawa

[3] Zyska B., Żakowska Z., Mikrobiologia materiałów (2005), wyd PŁ, Łódź

[4] Zyska B., Katastrofy, awarie i zagrożenia mikrobiologiczne w przemyśle i budownictwie (2001), wyd. PŁ, Łódź

[5] I – V Konferencje naukowe nt. Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych – materiały konferencyjne (2000, 2001, 2003, 2009), wyd. Quick-Druk, Łódź

[6] Ochrona przed korozją 9s/A/2006 - materiały konferencyjne IV konferencji naukowej Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych, Łódź 2006

[7] Czasopisma International Biodeterioration and Biodegradation, wyd. Elsevier

** Politechnika Łódzka, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii, Łódź, tel. 42 631 34 70; e-mail: beata.gutarowska@p.lodz.pl*