



Zagrożenia drewna w zabytkach powodowane przez grzyby

Piotr Witomski

Zakład Ochrony Drewna SGGW w Warszawie

Wymagania środowiskowe

Elementy drewniane przebywające w warunkach otoczenia, sprzyjających ich zawilgoceniu, ulegają biodegradacji. Jest to szczególnie częste w naszej strefie klimatycznej, w obiektach wystawionych na działanie czynników atmosferycznych. W Polsce, oprócz owadów i ognia, najczęstszym i najgroźniejszym czynnikiem niszczącym drewno są grzyby.

Drewno w optymalnych warunkach - niskiej wilgotności (nienarażone na działanie wody) lub pozbawione dostępu powietrza (pod wodą), zachowuje dużą trwałość przez setki, a nawet tysiące lat (np. sarkofagi egipskie, wraki statków, mazurskie kurhany, osada w Biskupinie). Wystawienie drewna na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych (stałe zawilgacanie w połączeniu z dostępem powietrza) powoduje szybki jego rozkład, zachodzący w ciągu kilku, kilkunastu lat. Działania profilaktyczne polegają na chronieniu drewna przed zawilgoceniem i zwiększaniem jego odporności przez stosowanie środków chemicznych. Wykorzystanie naturalnej trwałości drewna, stworzenie odpowiednich warunków użytkowania i prawidłowe stosowanie środków grzybobójczych pozwala na prawie nieograniczoną w czasie eksploatację drewna.

Obiekty drewniane najczęściej są niszczone przez grzyby właściwe (*Fungi*), a wśród nich należące do gromady podstawkowych (*Basidiomycota*). Zabytkowe obiekty drewniane najczęściej narażone są na działanie grupy grzybów nazywanych potocznie domowymi. Wytwarzają one duże, widoczne gołym okiem owocniki w postaci płasko przyrośniętych talerzowatych narośli (resupinat), kapeluszy na trzonie, muszelek, wachlarzy lub kopyt przytwierdzonych bokiem. Grzyby te porażają i rozkładają drewniane elementy budynków, drewniane budowle, konstrukcje inżynierskie (mosty, wieże, dzwonnice), krzyże, słupy, ogrodzenia itp., ale również drewno w kopalniach, obudowy portów, podkłady kolejowe, słupy teletechniczne.

Drugą grupą grzybów porażających drewno są grzyby mikroskopijne, zwane potocznie pleśniami, należące do gromady sprzężniowych (*Zygomycota*), workowych (*Ascomycota*) i grzybów mitosporowych (*Deuteromycota*). Mogą one powodować powierzchniowy rozkład drewna w elementach wystawionych na działanie czynników atmosferycznych, jak również jego przebarwienia i powierzchniowe pleśnienie.

Grzyby domowe są grupą grzybów występujących w budynkach oraz konstrukcjach drewnianych zbudowanych na otwartej przestrzeni. Rozkładają drewno, materiały lignocelulozowe i inne materiały organiczne, takie jak: tapety, papier, skóra. Grzyby domowe mogą rozwijać się jedynie w odpowiednim środowisku i w korzystnych warunkach. Aby takie, sprzyjające zasiedleniu i rozwojowi patogenów, warunki zaistniały, muszą być spełnione określone **wymagania środowiskowe**. Grzyby domowe do rozwoju potrzebują obecności właściwego substratu (drewna lub innych materiałów organicznych), odpowiedniej wilgotności drewna i powietrza, temperatury, dostępu powietrza, odpowiedniego naświetlenia i odczynu podłoża. Ponadto grzyby źle znoszą przewiew, bowiem osusza on środowisko. Oczywiście wymienionych warunków nie można rozpatrywać oddzielnie, lecz łącznie, gdyż razem tworzą środowisko sprzyjające lub niesprzyjające rozwojowi grzybów.

Obecność pożywienia - grzyby powodujące destrukcję drewna są bardzo ekspansywne i wymagają do swego rozwoju dużej ilości substancji odżywczych. Źródłem pożywienia dla grzybów domowych jest drewno lub inne materiały organiczne (tworzywa drzewne, papier, tapety, skóra, trzcina, słoma, mech, płótno itp.). Drewno zawierające w swym składzie celulozę, ligninę, pewne ilości białka, cukrów prostych, skrobi oraz innych składników stanowi dobrą pożywkę dla rozwoju grzybów. Grzyby domowe mogą atakować drewno gatunków iglastych i liściastych. Początkowo grzybnia - zasiedlając komórki drewna, wykorzystuje łatwo dostępne substancje odżywcze, znajdujące się wewnątrz komórek (białka, skrobie, tłuszcze, cukry, związki mineralne).

Po ich wyczerpaniu rozpoczyna się rozkład ściany komórkowej drewna. Grzyby mogą przyswajać wyłącznie substancje niskocząsteczkowe (głównie cukry proste), a drewno w swej głównej masie składa się z substancji wielkocząsteczkowych: celulozy (jasnej i włóknistej) oraz ligniny (brunatnej i amorficznej). Aby te substancje stały się dostępne dla grzybów, muszą ulec rozkładowi. Strzępki grzybów - rozrastając się w drewnie w światłach komórek, wydzielają na zewnątrz enzymy wnikaające w ściany komórkowe. W zależności od gatunku grzyba, wydzielane są enzymy celulolityczne i ligninolityczne, powodujące destrukcję podstawowych składników drewna. Lekko kwaśne środowisko przyspiesza działanie enzymów. Rozłożona tkanka drzewna jest przyswajana na drodze osmozy przez strzępki grzyba, zaś ściany komórkowe drewna wykazują ubytki grubości i miąższości oraz tzw. wżery. W wyniku działalności grzybów ulegają zmianom wszystkie właściwości drewna, a więc budowa anatomiczna i morfologiczna, skład chemiczny, właściwości fizyczne i mechaniczne. Należy wyraźnie zaznaczyć, że materiały budowlane nieorganiczne (jak cegła, beton, zaprawy) nie stanowią źródła pokarmu dla grzybów domowych, chociaż mogą być przez nieniszczony w sposób mechaniczny i chemiczny.

Odpowiednia wilgotność - grzyby potrzebują dla swojego rozwoju podwyższonej wilgotności drewna i powietrza. Najchętniej rozwijają się w drewnie o wilgotności 20-80% (optimum dla większości gatunków przypada na 36-40%). Ponadto, większość grzybów domowych preferuje dużą wilgotność powietrza, powyżej 90% (bliską parze nasyconej).

Powietrze - do swych czynności życiowych (oddychania) grzyby potrzebują pewnych ilości powietrza (tlenu). Należy jednak zaznaczyć, że grzyby preferują obszary o stojącym powietrzu, a silna cyrkulacja powietrza i przewiew działają na nie niekorzystnie, a nawet inhibująco (hamująco). Zatem istota walki z grzybami sprowadza się, między innymi, do doboru odpowiednich rozwiązań technicznych, zapewniających poprawną wentylację obiektów (cyrkulacja powietrza oraz unikanie tworzenia „martwych przestrzeni”).

Obecność w drewnie powietrza i wody są ze sobą ściśle związane, gdyż zamiennie wypełniają one pory drewna. Do rozwoju grzybów niezbędne są oba te składniki w odpowiednich proporcjach. Jak już zauważono, grzyby domowe rozwijają się w drewnie o wilgotności 20% - 80%. Gdy wilgotność drewna wynosi powyżej 80%, w porach drewna znajduje się tak duża ilość wody, że pozostaje już w nich bardzo mało miejsca na powietrze, automatycznie pozbawiając grzyby tego niezbędnego składnika (jest to tzw. mokry stan ochronny). Z odmienną sytuacją mamy do czynienia, gdy wilgotność drewna spada poniżej 20%, wtedy ilość wody zawarta w drewnie jest niewystarczająca do rozwoju grzybów (tzw. suchy stan ochronny). W obiektach i przedmiotach drewnianych ten niski poziom wilgotności drewna (poniżej 20%) osiąga się przez suszenie, a następnie utrzymuje się go przez cały okres użytkowania obiektu.

Utrzymywanie drewna w stanie suchym jest podstawowym wymogiem i jedyną gwarancją długiej trwałości budynków drewnianych. Stąd waga, jaką się przywiązuje do tego problemu podczas wykonywania i użytkowania obiektów drewnianych.

Drewniane elementy są podłożem dla rozwoju grzybów, a temperatura wewnątrz budynków jest zwykle zbliżona do optymalnej dla ich rozwoju. Powietrze ma zaś zawsze łatwy dostęp do drewna, więc jedynym parametrem, na jaki możemy wpływać to nie dopuszczać do zawilgacania drewna. Wystarczy jednak okresowe zwiększenie wilgotności drewna w budynku, aby powstało niebezpieczeństwo zagrzybienia.

Istota walki z grzybami domowymi polega na ochronie budynku i drewna przed wilgocią. Zabieg impregnacji ma zabezpieczać drewno na okres przejściowego zawilgacania, natomiast rozwiązanie elementów konstrukcyjnych powinno umożliwiać szybkie ich przesuszenie w czasie budowy lub w wypadku późniejszego zawilgocenia.

Temperatura - grzyby najlepiej rozwijają się w temperaturze 5-35°C (optimum 18-27°C). W tym miejscu należy zauważyć, że temperatura poniżej i powyżej podanego zakresu działa zwykle hamująco na rozwój grzybów, ale nie musi na nie działać zabójczo.

Odpowiedni odczyn środowiska – powinien być lekko kwaśny, w granicach pH 4-6, co w przybliżeniu pokrywa się z naturalnym odczynem drewna. Ponadto grzyby wydzielają do podłoża pewne ilości metabolitów, na przykład w postaci kwasów organicznych, dzięki czemu mają zdolność do zakwaszania środowiska (same buforują optymalny odczyn).

Naświetlenie - większość gatunków grzybów do swojego rozwoju nie potrzebuje światła, a dla niektórych gatunków światło jest wręcz szkodliwe. Natomiast do prawidłowego wykształcania owocników niezbędne są pewne ilości światła, dla jednych gatunków małe ilości światła

rozproszonych, dla innych silne nasłonecznienie. Owocniki wykształcone w ciemności zwykle są zniekształcone, a bardzo często płonne (niepłodne).

Biologiczną **przyczyną zagrzybiania** i porażenia budynków przez grzyby może być:

- przeniesienie zarodników grzyba na skutek ruchów powietrza,
- wbudowanie drewna porażonego przez grzyby podczas wadliwego składowania,
- zawleczenie do budynku utworów grzyba przez ludzi i zwierzęta,
- powtórne wykorzystanie drewna z rozbiórki,
- składowanie w pomieszczeniach zakażonego drewna opałowego,
- stosowanie do budowy zagrzybionej cegły, gruzu lub podsypki,
- zbudowanie obiektu na zagrzybionym, nie odkażonym podłożu,
- przerastanie grzybni przez mur z zagrzybionego obiektu.

Budowa grzybów

Grzybnia składa się z cienkich, nitkowatych utworów zwanych strzępkami. Wymiary strzępek są przeważnie bardzo małe, mieszczące się w granicach kilku mikrometrów, zatem pojedyncze strzępki są niewidoczne gołym okiem niezbrojonym. Do zakażenia obiektu może dojść za pośrednictwem zarodników, fragmentów grzybni lub porażonego drewna. Grzybnia zaczyna swój rozwój przez kiełkowanie zarodnika, a następnie się rozrasta i rozgałęzia, tworząc większe skupienie zwane grzybnią. Czasem strzępki grzybni łączą się ze sobą, tworząc zwartą pseudotkankę, obserwowaną w postaci płatów i sznurów grzybniowych.

W procesie rozkładu drewna największe znaczenie ma **grzybnia substratowa**, rozwijająca się wewnątrz tkanki drzewnej i służąca do odżywiania grzyba. Po zakażeniu drewna grzybnia rozwija się w światłach komórek drewna, tworząc w nich sploty i skupienia. Początkowo strzępki rozwijają się w bogatych w substancje zapasowe komórkach miękiszowych promieni rdzeniowych, a następnie preferują cienkościenne komórki drewna wczesnego. Grzyb wydziela na zewnątrz ze swych komórek enzymy, które dyfundują w głąb ściany komórkowej drewna i tam rozkładają składniki tkanki drzewnej (celulozę, hemicelulozy i ewentualnie ligninę). Substancje te, rozłożone do cukrów prostych, pobierane są przez grzyba i wykorzystywane są jako substancje odżywcze oraz budulec strzępek. Grzybnia rozgałęzia się i rozrasta, opanowując coraz rozleglejsze obszary drewna. Do swojego rozprzestrzeniania strzępki wykorzystują naturalne otwory w elementach budowy anatomicznej drewna. Najszybciej strzępki rosną w światłach naczyń lub cewek, czyli wzdłuż pnia. Do sąsiednich komórek grzybnia najczęściej przedostaje się przez jamki, ale także ma zdolność do chemicznej i mechanicznej perforacji ściany komórkowej drewna.

Ze względu na bardzo małe wymiary strzępek są one niewidoczne gołym okiem, a jedynym dostrzegalnym objawem obecności grzyba w drewnie jest obraz rozłożonego drewna. Niemniej jednak bardzo często się zdarza, że grzyb wytwarza powierzchniowe twory pozwalające nam stwierdzić jego obecność w drewnie jeszcze we wczesnym stadium rozwojowym, a także ułatwiające określenie gatunku grzyba i szybkie podjęcie odpowiednich metod zwalczania. Z makroskopowo dostrzegalnych form grzyba należy wymienić: grzybnię powierzchniową, sznury grzybniowe oraz owocniki. Wygląd, kształt, kolor i rozmiary tych utworów znacznie ułatwiają rozpoznawanie gatunku grzyba występującego w drewnie.

Na powierzchni drewna grzyb wytwarza skupienia **grzybni powierzchniowej** (powietrznej). Służy ona do pobierania z powietrza tlenu, niezbędnego do procesów życiowych, oraz do wydalania dwutlenku węgla i wody. Grzybnia powierzchniowa porasta elementy drewniane i sąsiadujące z nimi mury, tworząc zbite z licznych strzępek płaty, dostrzegane gołym okiem na powierzchni elementów. W zależności od gatunku grzyba grzybnia może mieć formę bardzo puszystą i watawatą, o grubości od kilku do kilkunastu centymetrów, silnie zbitą i mięsistą, przypominającą pergamin lub zamsz, lub bardzo nikłą, przypominającą pajęczynę. Grubość tej grzybni i wytwarzane przez nią wzory, jak również kolor i siła przyrośnięcia do podłoża (łatwość oddzielania się od podłoża) są cechami charakterystycznymi dla danego gatunku grzyba i przez to ułatwiający rozpoznawanie.

Często w zaawansowanym stadium rozkładu drewna niektóre gatunki grzybów zaczynają wytwarzać **sznury grzybniowe (ryzomorfy)**. Mogą one mieć różną budowę, grubość, średnicę, barwę i konsystencję, wytwarzany wzór oraz elastyczność. Sznurowe grzybniowe wyrastają z grzybni w postaci wstęg i zbudowane są z silnie splecionych strzępek o różnej budowie anatomicznej. Mają

one zdolność rozrastania się na powierzchni materiałów nieдрzewnych, a nawet przerastania przez mury i beton. Służą zwykle do rozprzestrzeniania się grzyba wewnątrz budynku i przenoszenia z jednego siedliska na drugie oraz transportowania substancji organicznych z rozłożonego drewna, wody i powietrza. Sznurowy mogą składać się ze strzępek normalnych, strzępek naczyńowych o dużej średnicy i cienkich ścianach, przewodzących różne substancje, oraz cienkich strzępek wzmacniających o grubych ścianach, nadających całości sznura wytrzymałość. Grubość sznurów grzybowych, w zależności od gatunku, wynosi od jednego do kilkunastu milimetrów, ich długość zaś może sięgać do kilku lub kilkunastu metrów. W przekroju sznurowy mogą być okrągłe, owalne lub płaskie. Średnica sznurów, ich przekrój poprzeczny, a także kolor oraz elastyczność lub kruchość są cechami rozpoznawczymi gatunku grzyba. Obecność sznurów wskazuje na daleko zaawansowany proces rozkładu drewna, a ich wytwarzanie jest stymulowane pogorszeniem się warunków środowiskowych.

Najbardziej charakterystycznym elementem, pozwalającym określić gatunek grzyba jest **owocnik**. O ile grzybnia i sznurowy rozwijają się często w miejscach trudnodostępnych i są widoczne dopiero po pewnym czasie, o tyle owocniki tworzą się na powierzchniach zewnętrznych. Są one różnorodne pod względem budowy, koloru i wielkości. Owocniki grzybów przybierają różne kształty – od form ogólnie znanych, jak kapelusz na trzonie (twardziak łuskowaty) i kopytowata konsola (huby), do form mniej znanych, przypominających przyrośnięte bokiem listwy, muszelki i wachlarze, lub płaskie talerzowate narośla na powierzchni drewna, zwane resupinatami. Istotnym elementem budowy owocnika jest tzw. warstwa hymenialna wytwarzająca zarodniki oraz hymenofor - element owocnika usytuowany od dołu, a u forma resupinata na powierzchni owocnika. Budowa hymenoforu jest jednym z elementów służących do określenia gatunku grzyba. Może być on blaszkowy (jak u twardziaka łuskowatego), rurkowy (jak u wrośniaka różnobarwnego), ale także pofałdowany, labiryntowaty (jak u gmatwka dębowego), kolczasty lub gładki (jak u powłocznika). Cechami owocników, na które należy zwrócić uwagę, są ich kształt, mięsistość, kolor, typ hymenoforu i łatwość oddzielania się od podłoża.

Typy rozkładu drewna

Rozkład drewna powodowany przez grzyby można podzielić na trzy typy:

- brunatny rozkład drewna,
- biały rozkład drewna (z odmianami),
- szary (lub tzw. pleśniowy) rozkład drewna.

Podział taki oparty jest na makroskopowym wyglądzie zniszczonego drewna, co wiąże się z typem chemicznego rozkładu substancji wchodzących w skład budowy drewna. Każdy z tych typów rozkładu jest powodowany przez inne gatunki grzybów, a rozkład substancji drzewnej ma inny przebieg. Ponadto należy wspomnieć o wadach drewna, które są wywoływane przez grzyby, nie powodując (lub w małym stopniu) rozkładu ścian komórkowych. Do wad tych można zaliczyć barwienie i pleśnienie.

W uproszczeniu, drewno zbudowane jest z białej i włóknistej celulozy (ok. 50%), brunatnej, bezpostaciowej ligniny (ok. 30%) oraz hemicelulozy (ok. 20%) i innych substancji w niewielkich lub śladowych ilościach. Drewno jest kompozytem, którego budowę można przyrównać do budowy żelbetu (lub laminatu poliestrowo-szklanego), złożonego ze stalowego zbrojenia, przenoszącego obciążenia na rozciąganie, oraz wypełnienia betonowego, przenoszącego obciążenia na ściskanie. Funkcję zbrojenia w drewnie spełniają łańcuchy celulozowe, nadające drewnu wytrzymałość na rozciąganie, a wypełnieniem jest bezpostaciowa lignina, nadająca wytrzymałość na ściskanie. Aby drewno mogło spełniać swoje funkcje konstrukcyjne i wytrzymałościowe, musi zachowywać oba te istotne składniki swej budowy we właściwej, charakterystycznej dla danego gatunku proporcji.

Brunatny rozkład drewna. Rozkładem najczęściej występującym w drewnie wyrobionym (w budownictwie oraz konstrukcjach i elementach użytkowanych na otwartej przestrzeni) i stanowiącym największe zagrożenie jest brunatny rozkład drewna. Grzyby rozkładu brunatnego, dzięki wytwarzanym przez siebie enzymom celulolitycznym, rozkładają jasną, włóknistą celulozę na cukry proste, wykorzystywane jako substancje pokarmowe. Rozkład celulozy odbywa się początkowo przez przerywanie jej długich łańcuchów, a w ostatecznej fazie prowadzi do całkowitego rozkładu celulozy na monocukry. W ten sposób drewno traci swój celulozowy szkielet, a konsekwencją jest utrata wytrzymałości na rozciąganie oraz spoiwości drewna. W drewnie

pozostaje nierozłożona, bezpostaciowa, brunatna lignina, nadająca drewnu brunatny kolor (stąd nazwa typu rozkładu). Drewno pęka na pryzmatyczne kostki, a w ostatnim stadium rozkładu rozsypuje się w proszek, co potocznie zwykło się nazywać zgnilizną drewna. Niebezpieczeństwo, jakie niesie ten typ rozkładu, jest bardzo wysokie, gdyż przy silnie zaawansowanej degradacji drewno ma obniżoną (w skrajnych wypadkach nawet bliską zeru) wytrzymałość. Obiekt dotknięty tym typem rozkładu może grozić katastrofą budowlaną. Szybkość rozkładu może być zadziwiająco duża. Znane są przypadki, że w ciągu roku dwóch lat grzyby powodowały w drewnie 70-procentowe ubytki masy, a wytrzymałość spadała do zera. Po tym okresie konstrukcje (np. stropy) ulegały zawaleniu. Rozkład brunatny spotykany jest głównie na drewnie wbudowanym do budynku lub nieodpowiednio składowanym oraz na elementach drewnianych, pracujących na otwartej przestrzeni (słupy, płoty itp.).

Biały rozkład drewna Jest on rzadziej spotykany w drewnie wyrobionym, występując głównie na składowiskach drewna, a przede wszystkim w lesie na żywych i zamarłych drzewach, obłamanych gałęziach i leżaninie. Grzyby, powodujące ten typ rozkładu, wydzielają do drewna zarówno enzymy lignolityczne, jak i celulolityczne, powodując w ten sposób jednoczesny rozkład ligniny i celulozy. Ponieważ drewno zawiera znacznie więcej jasnej włóknistej celulozy niż brunatnej ligniny, więc podczas jednoczesnego rozkładu obu tych składników udział ligniny w drewnie maleje, celulozy zaś (pomimo ubytków) relatywnie wzrasta. W ostatnim stadium rozkładu dochodzi do sytuacji, że cała lignina jest rozłożona, a pozostaje jeszcze część białej celulozy. Drewno, zachowując swe wymiary, przybiera biały kolor (stąd nazwa typu rozkładu) i daje się rozwłóknić na podłużne płyty i fragmenty czystej celulozy (powszechnie zwane próchnem). Drewno podległe temu rozkładowi nie jest tak silnie osłabione, jak w przypadku rozkładu brunatnego, ale daleko posunięty rozkład może być równie groźny. Ze względu na wolniejszy charakter przebiegu procesów rozkładu i mniejsze nasilenie występowania w budynkach, nie niesie on za sobą wielkich strat. Jego występowanie wiąże się zwykle z zastosowaniem do budowy drewna porażonego już grzybami w lesie lub na składzie. Po wbudowaniu takiego drewna, w warunkach silnego zawilgocenia, grzyby mogą kontynuować swój rozwój i dalej niszczyć drewno. Walka z tymi grzybami polega na starannym doborze drewna do budowy. Wyróżnia się rozkład biały jednolity i rozkład biały niejednolity (pstry).

Szary rozkład drewna Najmniej niebezpieczny jest szary rozkład drewna. Rozłożone drewno przybiera kolor szary i pęka na drobne pryzmatyczne kosteczki, które zwykło się nazywać drewnem zwiertzałym. Destrukcji ulegają wszystkie składniki strukturalne znajdujące się w obszarze działania grzybów, choć rozkładana jest głównie celuloza. Grzyby do swojego rozwoju wymagają bardzo wysokiego poziomu wilgotności drewna (optimum 80–100%). Degradacja przebiega dość wolno i ogranicza się do powierzchniowych warstw drewna, sięgając na głębokość do 2–4 mm, a z chwilą przeschnięcia, zniszczone i zszarzałe warstwy drewna odpadają. Procesy destrukcyjne, w przypadku rozkładu pleśniowego, mogą trwać latami. Rozkład szary występuje w drewnie użytkowanym na otwartej przestrzeni i narażonym na ciągłe zawilgocenie. Można go spotkać na drewnianych elementach niezabezpieczonych przed działaniem wody, takich jak: płoty, pale (szczególnie w kontakcie z gruntem i wodą, w strefie przy ziemi lub w mostach na granicy z lustrem wody), gonty, dranice, oblicówki, wiaty, nie pomalowane ławki, okna. Jak zaznaczono, rozkład substancji drzewnej w rozkładzie szarym odbywa się na niewielkiej głębokości, ale podczas wieloletniego oddziaływania może przybrać szersze rozmiary.

Wpływ rozkładu drewna na jego wytrzymałość

Najczęściej stosowaną miarą określającą rozmiar rozkładu drewna jest podawanie ubytku jego masy. Dane te jednak, w żaden sposób nie dają poglądu na najważniejszą z praktycznego punktu widzenia cechę, mianowicie jego wytrzymałość. Badania nad zależnością rozkładu drewna i spadkiem jego wytrzymałości wskazują, że już nieznaczne ubytki masy drewna w zakresie 3-5% mogą powodować istotne spadki wytrzymałości drewna. W warunkach laboratoryjnych gdzie rozkład drewna zachodzi bardzo szybko pierwsze zmiany wytrzymałości drewna są obserwowane już po 2 tygodniach.

Longyear (1926, za Cartwrightem i Findlayem 1951) jako pierwszy, po serii bardzo starannie opracowanych badań nad własnościami mechanicznymi drewna zaatakowanego przez grzyby, zaobserwował że spadek wytrzymałości występował już przed uchwytym spadkiem gęstości.

Cartwright i Findlay (1951) podają, że wytrzymałość drewna świerka Sitki po dwutygodniowym działaniu grzyba *Trametes serialis* zmniejszyła się o przeszło 15%. Powstałe w tymże okresie zmiany w zabarwieniu i w wyglądzie zewnętrznym drewna były bardzo nikłe i nawet nie stwierdzono wyraźnych ubytków masy drewna. Przeprowadzone wtedy analizy chemiczne wykazały zachodzący rozkład holocelulozy.

Ci sami autorzy badając rozkład biały (*Polyporus hispidus*) na drewnie jesionowym poczynili obserwację, że cechą najszybciej ulegającą obniżeniu w przypadku rozkładu białego jest udarność. Wytrzymałość na zginanie, w początkowych stadiach rozkładu, zmniejszała się nieznacznie, natomiast jego udarność wykazywała bardzo szybki spadek, mianowicie po upływie dwóch tygodni od chwili rozpoczęcia doświadczenia zaobserwowano 20% spadek udarności. Po 12 tygodniach rozwoju grzyba udarność drewna spadła o 90%, podczas gdy wytrzymałość na ściskanie spadła zaledwie o 10%. W ciągu całego okresu badawczego wytrzymałość na zginanie zmniejszała się mniej więcej równomiernie i po 28 tygodniach uległa obniżeniu o 27,8%, zaś współczynnik sprężystości tym samym czasie zmniejszył się zaledwie o 10,8%.

Badania nad wpływem na wytrzymałość drewna sosny najgroźniejszych grzybów rozkładu brunatnego *Serpula lacrymans* i *Coniophora puteana* przeprowadzili Liese i Stamer (1934, za Cartwrightem i Findlayem 1951) Stwierdzili oni, że ubytkowi masy o 10% na skutek działania pierwszego grzyba drewno było o 50% słabsze od normalnego, podczas gdy na skutek działania drugiego grzyba ubytkowi masy o 20% towarzyszył spadek wytrzymałości o 60%.

Ogólna obserwacja wskazuje, że rozkład węglowodanów prowadzi do drastycznego spadku wytrzymałości drewna, ale ponieważ hemicelulozy stanowią zewnętrzną otulinę wokół mikrofibryl celulozowych, to aby dotrzeć do celulozy, grzyby musza najpierw rozłożyć hemicelulozę. I obecnie uważa się, że to rozkład hemiceluloz wpływa istotnie na wytrzymałość drewna. Ponieważ grzyby rozkładu brunatnego rozkładają i wykorzystują wprawdzie cukry hemiceluloz: glukomannan, następnie ksylan oraz inne cukry, a dopiero na końcu glukozę z celulozy, obecnie uważa się, że spadek wytrzymałości w początkowych fazach rozkładu drewna jest związany z hydrolizą hemicelulozy, bez znacznych ubytków celulozy.

Według Curlinga i wsp. (2001) duże spadki wytrzymałości zachodzą już w początkowych fazach rozwoju grzyba i są związane właśnie z rozkładem hemicelulozy. Podczas rozwoju *Gleophyllum trabeum* na drewnie sosny, po pierwszych 20 dniach, ubytkowi masy o 5% towarzyszył spadek wytrzymałości na zginanie o 40-75%. Początkowe ubytki wytrzymałości na zginanie sięgające do 40% były związane z odszczepianiem bocznych podstawników od łańcuchów głównych hemicelulozy, dalsze ubytki wytrzymałości o kolejne 40% były już spowodowane rozkładem łańcucha głównego hemiceluloz. Rozkładu celulozy był obserwowany dopiero w momencie, gdy wytrzymałość na zginanie była obniżona o 75%. Według tych autorów ubytkom masy drewna miały by towarzyszyć proporcjonalnie czterokrotnie wyższe spadki wytrzymałości na zginanie (np. 5% ubytek masy – 20% spadku wytrzymałości), a istotne obniżenie modułu sprężystości (a zatem sztywności drewna) zachodziłoby dopiero po rozpoczęciu rozkładu celulozy.

Zestawienie podane przez Wilcoxa (1978, za Eatonem i Halem 1993) pozwala założyć, że podczas rozkładu brunatnego w drewnie iglastym przy ubytku masy o 5% spadek wytrzymałości na zginanie statyczne i dynamiczne wynosi ok. 25-50%, na ściskanie wzdłuż włókien o 35-45%, a na rozciąganie wzdłuż włókien o 40-60%. Przy ubytkach masy ok. 10% wskaźniki te osiągają wartości: zginanie statyczne i dynamiczne – spadek o ok. 85%, a na ściskanie wzdłuż włókien – spadek o 65%.

Eaton i Hale (1993) podają wyniki porównawczych badań Armstronga i Savoryego (1959) oraz Henningssona (1967) na drewnie brzozy i buka z zastosowaniem grzybów rozkładu brunatnego, białego i szarego. Podczas rozkładu buka, ubytkowi masy w rozkładzie brunatnym o 11% towarzyszył spadek wytrzymałości na zginanie dynamiczne o około 39%, w rozkładzie białym ubytkowi masy o 20% - spadek wytrzymałości o 31%, a w rozkładzie szarym ubytkowi masy o 16% towarzyszył spadek wytrzymałości o 31%. Na drewnie brzozy wartości te kształtowały się następująco: rozkład brunatny 13% ubytku masy – 70% spadku wytrzymałości, biały 22% ubytku masy – 65% spadek wytrzymałości, szary 13% ubytku masy – 73% spadku wytrzymałości.

Trzeba zaznaczyć, że rozkład szary zachodzi w powierzchniowych warstwach drewna, ale może tam powodować istotne zmiany wytrzymałości. Grzyb *Chaetomium globosum* po 2 tygodniach rozwoju może spowodować spadek wytrzymałości do 60%, przy ubytku masy 6%,

zaś *Alternaria alternata* w 8 tygodni może spowodować spadek wytrzymałości na rozciąganie o ok. 60% przy ubytkach masy 1,8%.

Badania nad wpływem sinizny na właściwości drewna wykazywały głównie spadki udarności o 15-30% a nawet 43%, spadki wytrzymałości na zginanie o 1-5% i twardości o 2-10% (Cartwright i Findlay 1951).

Stosowane w badaniach laboratoryjnych próby niszczące dają wyniki bezwzględne wartości wytrzymałości, natomiast nie pozwalają na śledzenie zmian zachodzących w tym samym elemencie. W związku z tym w dłuższych badaniach, szczególnie poligonowych często stosuje się testy nieniszczące takiej jak pomiar strzałki ugięcia, modułu sprężystości itp. Pozwalają one na wielokrotne pomiary zamian zachodzących w drewnie w dłuższym czasie ekspozycji drewna na czynniki niszczące.

Wszelkie testy badawcze nie odzwierciedlają jednak realnych zmian zachodzących w drewnie podczas jego eksploatacji z uwagi na odmienny od modelowego – laboratoryjnego przebiegu zamian zachodzących w drewnie. Różnorodność czynników wpływających na dynamikę rozwoju zagrzybienia nie pozwala przewidzieć zachowania się elementów drewnianych w praktyce. Trzeba jednak powtórzyć za Cartwrightem i Findlayem (1951) ważną zasadę: że „Właściwości mechaniczne drewna porażonego przez grzyby nie można uznać za równoważące z właściwościami mechanicznym drewna zdrowego nawet wówczas, gdy drewno porażone jest twarde i mocne”.

Grzywacz (1997) podaje listę gatunków grzybów najczęściej występujących na obiektach drewnianych w tym również i zabytkowych:

- grzyb domowy właściwy (*Serpula lacrymans*)
- grzyb piwniczny (*Coniophora puteana*)
- grzyb domowy biały (*Antrodia sinuosa*)
- grzyb kopalniany (*Paxillus panuoides*)
- podskórnicza rzędowa (*Antrodia serialis*)
- grzyb podkładowy (*Lentinus lepideus*)
- grzyb słupowy (*Gloeophyllum sepiarium*)
- gmatwek dębowy (*Daedalea quercina*)
- hubka różnobarwna (*Trametes versicolor*)
- żylica olbrzymia (*Phlebiopsis gigantea*)
- woskowiec gładki (*Cylindrobasidium laeve*)
- niszczyca belkowa (*Gleophyllum trabeum*)
- skórnik szorstki (*Sterem hirsutum*)
- wroślak rzędowy (*Trametes serialis*)
- rozszczepka pospolita (*Schizophyllum commune*)
- czuprynka kulista (*Chaetomium globosum*).

Literatura

- [1] Breitenbach J., Fränzlin F.: *Fungi of Switzerland. Vol. 1-4.* Verlag Mycologia. Lucerne 1984-1995.
- [2] Cartwright K., Findlay W.: *Rozkład i konserwacja drewna.* PWRiL, Warszawa 1951.
- [3] Curling S., Clausen C.A., Winandy J.E. *The effect of hemicellulose degradation on mechanical properties of wood during brown rot decay.* Document of The International Research Group on Wood Preservation. Document No IRG/WP 01-20219, 2001, 1-10.
- [4] Eaton R.A., Hale M.D.C.: *Wood. Decay, pests and protection.* Chapman & Hall. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras 1993.
- [5] Eriksson K.-E.L., Blanchette R.A., Ander P.: *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components.* Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong 1990.
- [6] Grzywacz A. *Gatunkowa różnorodność biologiczna grzybów rozkładających drewno* IV Symposium PSMB "Ochrona obiektów budowlanych przed korozją biologiczną i ogniem". Szklarska Poręba 1997, 69-77.
- [7] Highley T., Clausen C., Croan S., Green III F., Ilmann B., Micales J.: Research on biodeterioration of wood 1987-1992. I. *Decay mechanisms and biocontrol.* Forest Products Laboratory. Research Paper FPL-RP-529. Madison.1994.
- [8] Highley T., Micales J., Ilmann B., Green III F., Croan S., Clausen C.: Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. II. *Diagnosis of decay and in-place treatment.* Forest Products Laboratory. Research Paper FPL-RP-530. Madison 1994.
- [9] Hunt G. M., Garratt G.A.: *Wood preservation.* McGraw-Hill Book Company. New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney 1967.
- [10] Kurpik W.: *Wpływ podwyższonych temperatur na grzyby Coniophora cerebella* PERS. I Lenzites sepiaria FR., Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 178/1976, s. 93-102.
- [11] Lilly V.G., Barnett H.L.: *Fizjologia grzybów.* PWRiL, Warszawa 1959.
- [12] Müller E., Loeffler W.: *Zarys Mikologii.* PWRiL, Warszawa 1987.
- [13] Praca zbiorowa pod red. Ważnego J. i Karysia J.: *Ochrona budynków przed korozją biologiczną,* Arkady, Warszawa 2001.
- [14] Richardson B.A.: *Wood preservation. The Construction Press.* Lancaster, London, New York 1978.
- [15] Unger A.: *Holzkonserverung Schutz und Festigung von Kulturgut aus Holz,* VEB Fachbuchverlag AG, Leipzig 1988.
- [16] Ważny J.: *Oznaczanie grzybów domowych.* Przewodnik. Arkady. Warszawa 1963.
- [17] Wilkinson J.G.: *Industrial timber preservation,* Rentokil Library, Associated Buisness, London 1979.