

Jarosław BANECKI

BADANIA ODPORNOŚCI UŻYTKOWEJ POWŁOK Z FARB PROSZKOWYCH WYTWORZONYCH NA ELEMENTACH MEBLOWYCH Z PŁYT MDF

W artykule zaprezentowano wyniki badań, których celem było rozpoznanie użytkowej odporności powłok z farb proszkowych wytworzonych na płytach MDF w warunkach przemysłowych linii lakierniczych. W badaniach wykorzystano farby proszkowe nowej generacji: termoutwardzalną i utwardzaną promieniowaniem UV. Dokonano porównania mechanicznej, termicznej i chemicznej odporności użytkowej powłok lakierowych w zależności od sposobu utwardzenia farby proszkowej oraz warunków klimatyzacji wykończonych płyt.

Słowa kluczowe: farba proszkowa, powłoka lakierowa, płyta MDF, odporność użytkowa, klimatyzacja powłoki

Wstęp

Producenci mebli w państwach Unii Europejskiej zwracają coraz większą uwagę na te kategorie wyrobów lakierowych przeznaczonych do uszlachetniania powierzchni drewna i materiałów drewnopochodnych, które dotychczas przegrywały konkurencję z powszechnie stosowanymi w przemyśle meblarskim wyrobami rozpuszczalnikowymi. To zwiększone zainteresowanie wyrobami lakierowymi, których stosowanie w przemysłowych technologiach lakierowania pozwala ograniczyć emisję lotnych substancji organicznych (VOC) zarówno w procesach wytwarzania pokryć lakierowych na elementach płytowych, jak i podczas użytkowania mebli, wynika z wymagań, jakie stawia producentom branży meblarskiej oraz wytwórcom farb i lakierów dyrektywa 1999/13/EC. Dyrektywa ta stanowi główne narzędzie legislacyjne, którego stosowanie ma służyć ograniczeniu przemysłowych emisji VOC w ramach wspólnoty europejskiej. Innym dokumentem wspólnoty europejskiej, uzupełniającym w stosunku do wyżej wymienionego, jest dyrektywa 2004/42/EC, w której określono wykazy limitów dotyczących maksymalnych zawartości VOC w niektórych

rodzajach dekoracyjnych wyrobów lakierowych w postaci gotowej do użycia. Wymagania dotyczące zawartości VOC w wyrobach lakierowych, mające przyczynić się do ograniczenia emisji tych niepożądanych substancji w pierwszym zaplanowanym etapie, zaczęły formalnie obowiązywać od 1 stycznia 2007 roku. Natomiast zgodnie z postanowieniami dyrektywy 2004/42/EC, bardziej zastrzeżone limity zawartości VOC w wyrobach lakierowych zaczną obowiązywać od 1 stycznia 2010 roku. Aby sprostać wymaganiom określonym w powyższych dyrektywach, producenci mebli mogą wybrać jeden z dwóch zasadniczych sposobów osiągnięcia ustalonych limitów emisji VOC. Mianowicie, mogą oni albo zastosować różne metody unieszkodliwienia lub zatrzymania VOC (np. adsorpcję na aktywnych nośnikach lub spalanie w obecności katalizatora), albo zastąpić przemysłowe procesy lakierowania z użyciem typowych wyrobów rozpuszczalnikowych technologiami, które wykorzystują produkty o niższej zawartości rozpuszczalników organicznych lub materiały niezawierające takich rozpuszczalników. Efektywność ekonomiczna zmian w technologii wykończenia powierzchni elementów meblowych jest podstawowym kryterium wyboru rozwiązania prowadzącego do spełnienia wymagań odnoszących się do emisji VOC [Roux 2004]. Innymi ważnymi kryteriami, uwzględnianymi przez wytwórców mebli przy doborze technologii bardziej przyjaznych dla ludzi i środowiska naturalnego, są walory estetyczne wykończenia powierzchni meblowej oraz jej odporność użytkowa. Kategorie wyrobów lakierowych, wymieniane jako alternatywne dla typowych produktów rozpuszczalnikowych, obejmują wyroby typu *high solids*, wyroby wodorozcieńczalne, produkty rozpuszczalnikowe utwardzane promieniowaniem UV oraz wyroby proszkowe termoreaktywne lub utwardzane radiacyjnie.

Proszkowe wyroby lakierowe po raz pierwszy zastosowano w praktyce przemysłowej, w latach 50-tych ubiegłego stulecia, do wykończenia metalowych powierzchni, głównie w branżach motoryzacyjnej, maszynowej, budowlanej oraz sprzętu AGD [Krystofiak i in. 2006]. W okresie ostatnich kilkudziesięciu lat produkcja farb proszkowych do powlekania podłóży metalowych stanowi bardzo dynamicznie rozwijającą się gałąź przemysłu tworzyw i farb. W branżach płyt drewnopochodnych i meblarskiej technologia lakierowania proszkowego długo stanowiła trudną do wdrożenia i niedocenianą technologię wykończenia powierzchni, przede wszystkim z tego powodu, iż drewno i płytowe materiały drewnopochodne są czułe na działanie podwyższonych temperatur. W publikacjach o tej tematyce wskazywano, że zastosowanie wyrobów proszkowych do uszlachetniania powierzchni drewna jest utrudniane przez takie jego właściwości jak: termiczna wrażliwość, higroskopijność, porowata struktura powierzchni, mała przewodność cieplna i elektryczna, zawartość składników ubocznych (np. naturalnych żywic) oraz występowanie wewnętrznych naprężeń wskutek zmian wilgotności drewna [Krzoska-Adamczak 2001; Świetliczny 2002; Krystofiak i in. 2006]. Wymienione właściwości drewna wpływają na

jakość wytworzonej powłoki lakierowej powodując powstawanie takich wad powłoki, jak przebarwienia i smugi, pęcherze lub kraterzy, wtórne spękanie, a nawet łuszczenie się powłoki z wyrobu proszkowego. Przeprowadzone w ostatnich kilkunastu latach prace badawczo-rozwojowe, obejmujące opracowanie nowych generacji żywic stosowanych w recepturach farb proszkowych, modyfikacje technicznego oprzyrządowania linii lakierniczych oraz określenie wymogów dotyczących właściwości lakierowanego podłoża, pozwoliły na dokonanie istotnego postępu technologicznego w procesach przemysłowego proszkowego lakierowania płyt MDF i HDF [Bauch 1998; Krzoska-Adamczak 2000; Świetliczny 2002; Schmidt 2004; Redshaw 2006; Bauch i in. 2007]. Zasadnicze zmiany w technologii wykończenia powierzchni płyt drewnopochodnych farbami proszkowymi polegały na:

- zastosowaniu sposobów natrysku elektrostatycznego w wersji Tribo oraz Corona w celu efektywnego naniesienia cząstek farby proszkowej na powierzchnie płyty,
- stosowaniu farb proszkowych zawierających jako spoiwa niskotopliwe żywice lakiernicze,
- skróceniu czasu termicznego obciążenia podłożowego materiału drewnopochodnego poprzez równomierne ogrzewanie za pomocą promieniowania IR zarówno szerokich, jak i wąskich powierzchni płyty z naniesioną farbą proszkową,
- utwardzaniu spoiwa farby proszkowej promieniowaniem UV zamiast utwardzania termicznego w wysokiej temperaturze,
- doborze właściwych fotoinicjatorów procesu utwardzania farby proszkowej promieniowaniem UV [Świetliczny 2002],
- stosowaniu podłoża drewnopochodnego o określonej wilgotności, gęstości oraz grubości.

W wyniku badań uzyskano spoiwa upłynniające się w temperaturach 80–120°C. Przykładem mogą być farby proszkowe utwardzane promieniowaniem UV, przeznaczone do powlekania podłoży wrażliwych na podwyższone temperatury, tj. płyt MDF lub termoplastycznych tworzyw sztucznych. Opracowane spoiwa tych farb bazowały na nienasyconych żywicach poliestrowych, stosowanych wraz z odpowiednio dobranym inicjatorem UV [Fink, Brindöpke 1995]. Zastosowanie omawianych spoiw przyczyniło się do obniżenia temperatury topnienia i sieciowania farb proszkowych przy zachowaniu możliwie niskiej lepkości wyrobu. Ponadto, połączenie dwóch ekologicznych elementów technologii w jednym procesie, tj. farby proszkowej i utwardzania radiacyjnego, spowodowało również znaczne skrócenie czasu sieciowania spoiwa do około 1 min z 10–20 min wymaganych dotychczas. Według Witte [1996] opracowano farby proszkowe utwardzane promieniowaniem UV, których spoiwem były nienasycone żywice poliestrowe na bazie kwasu maleinowego i żywice poliuretanowe

z grupami eterowymi. Sieciowanie tych spoiw następowało w wyniku kopolimeryzacji grup eterowych ze strukturą bezwodnika kwasu maleinowego w żywicy poliestrowej. Inne badania, opisane przez Michaelisa i Stillerta [1999], zakończyły się opracowaniem zestawu farb proszkowych sieciowanych promieniowaniem UV przeznaczonych do malowania wyrobów wykonanych z drewna. W wyniku aplikacji opracowanych farb proszkowych uzyskano powłoki o dostatecznej jakości, natomiast próby lakierowania powierzchni drewna przezroczystymi wyrobami proszkowymi nie zakończyły się wytworzeniem powłok o oczekiwanych właściwościach. W toku innych badań opisanych przez Buysensa i Jacquesa [2001] dokonano pomyślnych prób lakierowania oklein naturalnych za pomocą przezroczystych wyrobów proszkowych utwardzanych promieniowaniem UV. W tych pracach proces sieciowania spoiwa lakieru proszkowego był prowadzony w temperaturach 90–100°C, a w efekcie końcowym uzyskano powłokę lakierową o grubości 30–40 µm. Odnotowano również doniesienia o próbach lakierowania sklejk wyrobami proszkowymi [Roux 2005].

W skład obecnie wytwarzanych farb proszkowych do wykończania powierzchni płyt drewnopochodnych wchodzi specjalnie opracowane polimery termoplastyczne i termoutwardzalne o odpowiedniej temperaturze zeszklenia (T_g), tworzące spoiwa tych wyrobów. Są to żywice epoksydowe, poliestrowe, akrylowe lub ich hybrydy [Bauch i in. 2007]. Uzyskane w ostatnich latach niskotopliwe spoiwa farb proszkowych termoreaktywnych umożliwiają utwardzanie stopionego proszku w temperaturach niższych niż 130°C. Są one określane jako tzw. *Ultra Low Bake powders* [Krystofiak i in. 2006]. Ponadto, farby proszkowe zawierają takie składniki jak: pigmenty [Jahn i in. 2000], wypełniacze, utwardzacze i dodatki uszlachetniające (np. substancje poprawiające rozlewność stopionego proszku na malowanym podłożu). Farby proszkowe, przeznaczone do utwardzania promieniowaniem UV, zawierają jako spoiwa nienasycone żywice poliestrowe, akrylowe oraz hybrydy uretanowo-akrylowe, poliestrowo-uretanowe lub epoksypoliestrowe w postaci prepolimerów [Świetliczny 2002; Bończa-Tomaszewski, Bańkowska 2006; Bauch i in. 2007]. Stopiona farba jest utwardzana w czasie nie dłuższym niż 30 s, w temperaturach nieprzekraczających 130°C. Farby proszkowe praktycznie nie zawierają rozpuszczalników organicznych i w czasie formowania powłoki lakierowej emitują bardzo małe ilości (0,1÷1,0% m/m) lotnych substancji organicznych (VOC).

Farby proszkowe spełniają podstawowe wymagania ich użytkowników, tzn. tworzą powłoki o dobrych właściwościach użytkowych, są bardziej wydajne (90–98%) od innych wyrobów lakierowych (około 50%), a przede wszystkim mniej zanieczyszczają środowisko zarówno w aspekcie emisji VOC, jak i ilości odpadów powstającej przy ich stosowaniu – są wyrobami ekologicznie bezpiecznymi [Bodnar 1993; Netuschil, Schmich 1996; Krzoska-Adamczak 2001; Świetliczny 2002]. Inne zalety wyrobów tej kategorii to: łatwość aplikacji poprzez natrysk elektrostatyczny, automatyzacja całego procesu wykończania

powierzchni elementów płytowych, możliwość jednokrotnego nałożenia powłoki lakierowej o grubości 60–100 μm [Krzoska-Adamczak 2000, 2001].

Wilgotność lakierowanej płyty drewnopochodnej powinna być na tyle zoptymalizowana, aby z jednej strony nie powodować powstawania pęcherzy podczas tworzenia się proszkowych powłok lakierowych, z drugiej zaś strony zapewnić odpowiednie przewodnictwo elektryczne powierzchni płyty [Bauch i in. 2007]. Sposobem pozwalającym na spełnienie obu tych wymagań jest wstępne ogrzewanie (*preheating*), na przykład płyty MDF, przy użyciu promieniowania IR lub prądów wielkiej częstotliwości [Bauch 1998; Świetliczny 2002; Krystofiak i in. 2006; Bauch i in. 2007].

Uzyskanie dekoracyjnych powłok proszkowych wymaga nanoszenia farby proszkowej przy użyciu techniki natrysku elektrostatycznego [Bauch 1995; Krzoska-Adamczak 2000; Bauch i in. 2007]. Dzięki możliwości sterowania polem elektrostatycznym w liniach lakierniczych z pionowym ustawieniem wykończonego elementu zostaje zapewniona stała grubość powłoki lakierowej na szerokich i wąskich powierzchniach tego elementu pomimo występowania zróżnicowanego przewodnictwa elektrycznego powierzchni [Frauman 2000]. Ładunek elektryczny może być doprowadzony do cząstek farby proszkowej przez wyładowanie koronowe, z wykorzystaniem zjawiska elektrokinetycznego (metoda Tribo), przez indukcyjne ładowanie cząstek farby albo wbudowanie do cząstki proszku spolaryzowanego polimeru.

Stopienie i ewentualne utwardzenie farby proszkowej następuje w piecach wyposażonych w sekcje promienników IR. Farba proszkowa naniesiona na szerokie i wąskie powierzchnie płyty MDF jest w tych urządzeniach ogrzewana poprzez równomierne napromieniowanie jej energią promieniowania IR, zazwyczaj o długości fali 1500–2500 nm (tzw. podczerwień średniofalowa). Takie ogrzewanie warstwy farby proszkowej służy minimalizowaniu stresu cieplnego dla wykańczonej nią płyty MDF [Schmidt 2004; Bauch i in. 2007]. Podczas upływniania farby proszkowej do pieca IR może być doprowadzane ciepło konwekcyjne, które poprawia rozlewność stopionego proszku oraz może spełniać rolę regulatora temperatury wewnątrz pieca [Świetliczny 2002].

W przypadku, gdy farba proszkowa stopiona na powierzchni płyty jest utwardzana promieniowaniem UV, wymagane jest zapewnienie równomiernego rozkładu natężenia napromieniowania UV (W/cm^2) i energii tego promieniowania (mJ/cm^2) na powierzchniach elementu płytowego. W zależności od prepolimerów, stanowiących spoiwa farby proszkowej, oraz maksimum absorpcji użytego fotoinicjatora stosowane są promienniki UV emitujące promieniowanie nadfioletowe w różnych zakresach: UVA (315–380 nm), UVB (280–315 nm) lub UVC (200–280 nm). Natomiast sposób rozmieszczenia promienników UV w sekcji utwardzania jest zależny od kształtu uszlachetnianej powierzchni – na przykład powierzchnia profilowana lub płaska [Schmidt 2004].

Opisane powyżej zmiany w zakresie spoiw farb proszkowych, aplikacji, upłynniania i utwardzania tych farb, jak również przygotowania podłoża do malowania tego rodzaju farbami, zostały wdrożone w skali przemysłowej. W Europie pierwsze wdrożenia tej technologii nastąpiły w 1994 roku (*HALI Büromöbel – Eferding*, Austria) oraz w 1999 roku (*ACRE Products – Halifax*, Wielka Brytania). W następnych latach technologie wykończania powierzchni, głównie płyt MDF, farbami proszkowymi utwardzanymi termicznie lub radiacyjnie wdrożyli między innymi producenci mebli lub elementów meblowych we Francji – *Sofamo*, w Niemczech – *Sauter GmbH* oraz *InnoPaint GmbH*, we Włoszech – *Pulverwood*, w Belgii – *Ledro Powder Coatings* oraz w Wielkiej Brytanii – *Stilexo*. Malowanie proszkowe znalazło zastosowanie zarówno do uszlachetniania płaskich, jak i profilowanych powierzchni płytowych elementów meblowych, głównie frontów mebli kuchennych i łazienkowych. Dokonujący się w ostatnich latach duży postęp technologiczny w zakresie receptur farb proszkowych oraz technologii stosowania tych produktów jest istotną przesłanką dla podejmowania prac służących rozpoznaniu właściwości użytkowych powłok wytworzonych z tych wyrobów.

Badania przeprowadzone w ITD w Poznaniu służyły rozpoznaniu użytkowej odporności powłok z farby proszkowej, utwardzonej termicznie na elementach płytowych, w zależności od warunków klimatyzowania wykończonych płyt przed ich badaniem. Celem badań było również porównanie użytkowej odporności powłok, wytworzonych z farby proszkowej termoutwardzalnej oraz utwardzanej promieniowaniem UV na elementach płytowych, które poddano klimatyzowaniu w warunkach standardowych.

Program badań

Badania obejmowały następujące zadania:

- przygotowanie płytowych elementów meblowych, tj.:
 - płyt MDF (19 mm) wykończonych jednostronnie powłoką strukturyzowaną (drobna struktura), wytworzoną z termoutwardzalnej farby proszkowej,
 - płyt MDF (19 mm) wykończonych jednostronnie powłoką gładką, wytworzoną z farby proszkowej utwardzonej promieniowaniem UV,
- klimatyzowanie przygotowanych próbek do badań w 3 zdefiniowanych klimatach,
- badania użytkowych właściwości sklimatyzowanych powłok lakierowych na płytach MDF, takich jak odporność na ścieranie, zarysowanie, uderzenie, działanie ciepła (suchego i wilgotnego), cykliczne działanie zmiennych temperatur oraz oddziaływanie zimnych płynów.

Materiały doświadczalne i metody badań

W badaniach zastosowano płytowe elementy meblowe wytworzone z płyt MDF o wymiarach:

- 600 × 600 × 19 mm, uszlachetnionych jednostronnie powłokami wytworzonymi z termoutwardzalnej białej farby proszkowej – RAL nr 9003 – wariant powłoki oznaczony kodem PPT,
- 600 × 150 × 19 mm, uszlachetnionych jednostronnie powłokami wytworzonymi z białej farby proszkowej utwardzanej promieniowaniem UV – RAL nr 9010 – wariant powłoki oznaczony kodem PPUV.

Powłoka PPT została wytworzona w warunkach przemysłowej linii lakierniczej na elementach płyty MDF z użyciem termoutwardzalnej farby proszkowej z serii *Drylac Wood*. Zastosowana farba proszkowa to materiał niskotemperaturowy (*Low Bake Powder*). Farbę proszkową наносono na powierzchnie elementów płytowych przy użyciu automatycznych pistoletów do natrysku elektrostatycznego typu *OptiGun*, sterowanych elektronicznie przy pomocy jednostki typu *OptiTronic*. Podczas natrysku cząstki farby ładowano elektrycznie w polu o różnicy potencjałów 60–100 kV. Naniesioną farbę proszkową stapiano i utwardzano w piecu IR produkcji *Vulcan Catalytic Systems* (piec typu *catalytic gas oven*).

Powłokę PPUV wytworzono w warunkach przemysłowej linii lakierniczej przy użyciu systemu lakierniczego określanego jako *APPCoating System*.

Opis poszczególnych wariantów powłok z farb proszkowych na płytach MDF wraz z charakterystyką wybranych właściwości fizycznych powłok przedstawiono w tabeli 1.

W tej tabeli podano również wyniki badania wilgotności:

- płyt MDF jednostronnie wykończonych powłoką lakierową PPT, poddanych klimatyzowaniu w klimatach standardowym, wilgotnym i suchym,
- płyt MDF jednostronnie wykończonych powłoką lakierową PPUV, poddanych klimatyzowaniu w klimacie standardowym.

Wilgotność płyt MDF, wykończonych powłokami lakierowymi przed ich klimatyzowaniem w danym klimacie oraz płyt sklimatyzowanych, określano stosując metodę opisaną w PN-EN 322:1999. Do badań zastosowano suszarkę laboratoryjną typu ULE 500 produkcji firmy *Memmert* oraz wagę analityczną typu WPA 180/C produkcji firmy *Radwag*.

Grubość powłoki proszkowej na płycie MDF mierzono metodą ultradźwiękową stosując grubościomierz ultradźwiękowy *QuintSonic PRO* firmy *ElektroPhysik*.

Połysk powłoki z farby proszkowej mierzono przy użyciu metody opisanej w PN-EN 13722:2006. Pomiary połysku powłok lakierowych wytworzonych na płytach MDF wykonano przy kącie padania światła wynoszącym 60° stosując połyskomierz wielokątowy REFO 3 firmy *Dr Lange*.

Tabela 1. Charakterystyka wilgotności płyt MDF jednostronnie wykończonych powłokami proszkowymi oraz wybrane właściwości powłok wytworzonych na płytach MDF z termoutwardzalnej lub utwardzanej promieniowaniem UV farby proszkowej

Table 1. Characteristic of moisture content of MDFs finished on one side with powder coatings and chosen properties of coatings on MDFs made of thermosetting or UV hardened powder paint

Oznakowanie powłoki lakierowej ¹⁾ Marking of lacquer coating ¹⁾	Wilgotność płyty ²⁾ Board moisture content ²⁾			Grubość powłoki lakierowej ³⁾ Thickness of lacquer coating ³⁾			Połysk powłoki lakierowej ⁴⁾ Gloss of lacquer coating ⁴⁾
	Średnia Mean	σ	v	Średnia Mean	σ	v	
	[%]			[μm]		[%]	
PPT 1	6,3	0,13	2,1	286	27	9	10
PPT 2	8,5	0,04	0,4				
PPT 3	5,4	0,05	1,0				
PPUV 1	5,9	0,08	1,4	104	5	5	41

¹⁾ Znaczenia kodowych oznaczeń powłok lakierowych na płytach MDF sprecyzowano w dalszej części rozdziału w powiązaniu z charakterystyką klimatów zastosowanych w badaniach.
Meaning of code markings of lacquer coatings on MDFs is specified in further part of the chapter in connection with the characteristics of climates used in the tests.

²⁾ Podane wartości obliczono na podstawie wyników 10 jednostkowych oznaczeń, a wilgotność przed klimatyzowaniem płyt MDF wykończonych zarówno powłoką proszkową PPT jak i powłoką PPUV wynosiła 5,9%.

Presented values were calculated based on the results of 10 unit determinations and moisture content before conditioning of MDFs finished with powder coating PPT and PPUV coating was 5,9%.

³⁾ Podane wartości obliczono na podstawie wyników 10 pomiarów.

Presented values were calculated based on the results from 10 measurements.

⁴⁾ Podana wartość stanowi średnią z wyników 5 pomiarów połysku wykonanych przy kącie padania światła 60°.

Presented value is the mean from the results of 5 gloss measurements taken at the light angle of incidence of 60°.

σ – odchylenie standardowe,
standard deviation,

v – współczynnik zmienności,
variability coefficient.

Próbki płyty MDF pokrytej jednostronnie powłoką PPT zostały poddane klimatyzowaniu przez okres 4 tygodni w trzech różnych poniżej opisanych klimatach. W ramach badań zastosowano następujące klimaty:

– klimat „1” zwany klimatem standardowym:

temperatura powietrza = 23 ± 1 °C,

względna wilgotność powietrza = 55 ± 5 %,

- klimat „2” zwany klimatem wilgotnym:
temperatura powietrza = 20 ± 1 °C,
względna wilgotność powietrza = $75 \pm 5\%$,
- klimat „3” zwany klimatem suchym:
temperatura powietrza = 23 ± 1 °C,
względna wilgotność powietrza = $35 \pm 5\%$.

Próbki płyty MDF pokrytej jednostronnie powłoką PPUV zostały poddane klimatyzowaniu przez okres 4 tygodni w klimacie „1”.

Próbki klimatyzowano w komorze klimatycznej *Brabender* model KSP 1000/60N wyposażonej w panel odczytowo-sterujący LB-725.

Uwzględniając rodzaj farby proszkowej tworzącej powłokę oraz warunki klimatyzowania lakierowanych płyt przed badaniami cech użytkowych powłok, ustalono następujący sposób kodowego oznakowania powłok poddanych badaniom:

- kod PPT 1 – oznacza powłokę wytworzoną z farby proszkowej utwardzonej termicznie, która została poddana klimatyzowaniu w klimacie „1”,
- kod PPT 2 – oznacza powłokę wytworzoną z farby proszkowej utwardzonej termicznie, która została poddana klimatyzowaniu w klimacie „2”,
- kod PPT 3 – oznacza powłokę wytworzoną z farby proszkowej utwardzonej termicznie, która została poddana klimatyzowaniu w klimacie „3”,
- kod PPUV 1 – oznacza powłokę wytworzoną z farby proszkowej utwardzonej promieniowaniem UV, która została poddana klimatyzowaniu w klimacie „1”.

Odporność na ścieranie powłok lakierowych badano stosując metodę opisaną w specyfikacji technicznej CEN/TS 15185:2005 [Emmler i in. 2005]. Do przeprowadzenia testów odporności na ścieranie zastosowano przyrząd *Taber Abraser* model 5151, produkcji *Taber Industries Co.* Podczas testów wykorzystano odpowiednio skalibrowany papier ścierny o symbolu S-33 produkcji *Taber Industries Co.* Podstawowym parametrem oceny odporności powłoki na ścieranie był początkowy punkt przetarcia IP.

Odporność na zarysowanie powłok z farb proszkowych wytworzonych na elementach płytowych badano stosując metodę A opisaną w specyfikacji technicznej CEN/TS 15186:2005 [Emmler i in. 2005]. Do przeprowadzenia testów odporności na zarysowanie zastosowano przyrząd *Scratch Hardness Tester* model 239/II produkcji *Erichsen GmbH & Co KG*, wyposażony w silnik z napędem elektrycznym, zapewniający prostoliniowy posuw ostrza z prędkością 20 ± 10 mm/s w zakresie jego obciążeń $1 \div 20$ N. W badaniach wykorzystano ostrze stożkowe wykonane z diamentu, o promieniu części sferycznej $R = 0,30 \pm 0,01$ mm oraz kącie rozwarcia stożka $\alpha = 60 \pm 1^\circ$. Ponadto, w badaniach zastosowano mikroskop pomiarowy o powiększeniu 20-krotnym, za pomocą którego wykonywano pomiary szerokości rys z niepewnością $\pm 0,01$ mm.

Badanie odporności na uderzenie powłok z farb proszkowych na elementach płytowych wykonano stosując metodę według PN-ISO 4211-4:1999. Do wykonania badań zastosowano przyrząd skonstruowany według opisu podanego w normie metodycznej wykorzystujący kulkę stalową o średnicy 14 mm i twardości $60 \div 66$ HRC. Oceny uszkodzenia badanej powierzchni meblowej dokonano z zastosowaniem 5-cio stopniowej opisowo-liczbowej skali ocen. Jako uzupełniający parametr oceny zastosowano średnią średnicę śladu uderzenia powstającego na badanej powierzchni.

Odporność powłok proszkowych na działanie ciepła w próbach na mokro i sucho, badano metodami opisanymi odpowiednio w normach: PN-EN 12721:2000 oraz PN-EN 12722:2000. W badaniach zastosowano następujące wartości temperatury metalowego bloku:

- w próbie na sucho: 70, 85, 100, 120, 140 i 160°C,
- w próbie na mokro: 55, 70, 85 i 100°C.

Odporność na działanie ciepła badanych powierzchni wyrażono najwyższą temperaturą metalowego bloku, po oddziaływaniu której powierzchnia powłoki lakierowej nie uległa jeszcze widocznym zmianom w ocenie przynajmniej dwóch z trzech obserwatorów. Dla potrzeb pełniejszej oceny odporności powłok na działanie ciepła w próbie na sucho, zastosowano uzupełniające kryterium oceny, którym była najniższa temperatura metalowego bloku, po działaniu której badana powierzchnia uległa zmianie w stopniu „3” w ocenie przynajmniej dwóch z trzech obserwatorów.

Odporność wykończeń proszkowych na płytach MDF na cykliczne działanie zmiennych temperatur badano stosując metodę A opisaną w PN-88/F-06100/07 – metoda o normalnym obciążeniu termicznym. Poszczególne powłoki lakierowe, z uwzględnieniem warunków ich klimatyzacji przed badaniem i rodzaju farby proszkowej, poddano działaniu zmiennych temperatur stosując 10 cykli według schematu opisanego w wyżej wymienionej normie metodycznej. Badaniu poddano 3 próbki w ramach każdego wariantu klimatyzacji próbek oraz rodzaju farby proszkowej. Po zakończeniu każdego cyklu badania oceniano stan uszkodzenia powłoki w wyniku oddziaływania powietrza o zmiennych temperaturach (+50°C przez 1 h i –20°C przez 1 h). Końcowy wynik tego badania wyrażono:

- maksymalną liczbą cykli badania, po zakończeniu których na żadnej z badanych próbek nie wystąpiły pęknięcia powłoki lakierowej,
- za pomocą wskaźnika odporności na działanie zmiennych temperatur (X_A), którego wartość obliczono stosując równanie (1):

$$X_A = \frac{n_A \times 100}{K_A} \quad (1)$$

w którym:

X_A – wskaźnik odporności na działanie zmiennych temperatur, % ,

n_A – liczba badanych próbek o nieuszkodzonych powłokach po osiągnięciu ustalonej liczby cykli (np. 10 cykli),

K_A – liczba badanych próbek.

Badanie i ocenę odporności na działanie zimnych płynów powierzchni elementów płytowych, wykończonych proszkowymi powłokami lakierowymi, przeprowadzono stosując metodę opisaną w PN-EN 12720:2000. W pracy zastosowano zestaw płynów testowych skompletowany na podstawie załącznika A do normy PN-EN 12720:2000, obejmujący następujące płyny: wodę destylowaną, kawę, herbatę, olej z oliwek, sok z czarnej porzeczki, 48 oraz 96% alkohol etylowy, 10% kwas cytrynowy, 10% węglan sodu, środek czyszczący, aceton, 2,5% chloraminę T. Zastosowano następujące warianty czasu kontaktu testowego płynu z badaną powierzchnią: 24 h, 6 h, 1 h i 10 min. Dla każdej z badanych powłok lakierowych testy rozpoczęto od 24 h działania wszystkimi wybranymi płynami, a następnie badano skutki oddziaływania płynów przy coraz krótszych czasach kontaktu z powłoką. Stopień zmian badanych powłok pod wpływem oddziaływania poszczególnych zimnych płynów oceniano stosując 5-cio stopniową opisowo-liczbową skalę ocen. Dla oceny poziomów odporności badanych powierzchni, przyjęto następującą zasadę: jeżeli dana powierzchnia wykazała odporność na działanie danego płynu testowego przy określonym czasie kontaktu płynu z badaną powierzchnią (tzn. uzyskała końcową ocenę „5”), to nie badano działania tego płynu na tę powierzchnię w krótszym czasie.

Omówienie wyników badań

Mechaniczna odporność powłok z farb proszkowych na płytowych elementach meblowych w zależności od warunków ich klimatyzacji oraz sposobu utwardzenia powłoki

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań odporności na ścieranie powłok lakierowych PPT 1, PPT 2 i PPT 3 wytworzonych na płytach MDF oraz porównawczo podano wyniki badań tej właściwości użytkowej uzyskane dla powłoki PPUV 1. Obok wartości parametru początkowego przetarcia powłoki (IP), w tabeli 2 zamieszczono również wyniki pomiarów grubości powłok z farb proszkowych na próbkach jednostkowych poddanych testom ścierania oraz średnie wartości grubości badanych powłok.

Dokładne rozważenie przyrostów średniej wartości IP w powiązaniu z analizą średnich grubości powłok PPT wskazuje, że średnia grubość badanej powłoki PPT 2 niższa o około 10% w stosunku do średniej grubości powłoki PPT 1 spowodowała prawie proporcjonalny spadek (o około 8%) wartości parametru IP. To oznacza, że mniejsza odporność na ścieranie powłoki PPT 2 była spowodowana przede wszystkim mniejszą średnią grubością tej powłoki na zbadanych próbkach jednostkowych w porównaniu do powłoki PPT 1, a wpływ klimatu wilgotnego na tę właściwość użytkową wykończenia PPT był nieznaczny.

Stwierdzona wyższa odporność na ścieranie powłoki PPT 3 w porównaniu do PPT 1 nie była w pełni uzasadniona przyrostem średniej grubości powłoki lakierowej. W tym bowiem wypadku średnia wartość parametru IP wzrasta o około 7%, podczas gdy przyrost średniej grubości powłoki PPT 3 w stosunku do powłoki PPT 1 wynosił tylko 3,5%. Omówione relacje wskazują, że przechowywanie powłok z farby proszkowej utwardzonej termicznie na płycie MDF w klimacie suchym zwiększa jej odporność na ścieranie (tabela 2).

Tabela 2. Odporność na ścieranie powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV

Table 2. Resistance to abrasion of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Odporność powłoki lakierowej na ścieranie <i>Abrasion resistance of lacquer coating</i>			
	IP _{kor} ^{*)} [obr]/[rev.] (Grubość powłoki – μm) (Coating thickness – μm)			Ocena końcowa IP ^{**) [obr]} <i>Final rating IP^{**) [rev.]}</i>
	Próbka 1 <i>Sample 1</i>	Próbka 2 <i>Sample 2</i>	Próbka 3 <i>Sample 3</i>	(Średnia grubość powłoki – μm) (Mean thickness of coating – μm)
PPT 1	585 (332)	609 (312)	599 (306)	600 (317)
PPT 2	656 (325)	547 (243)	433 (285)	550 (284)
PPT 3	672 (342)	603 (334)	640 (308)	640 (328)
PPUV 1	189 (101)	168 (100)	189 (112)	180 (104)

*) Wartość parametru IP skorygowana wskutek uwzględnienia współczynnika korekcyjnego $f = 1,033$ dla papieru ściernego zastosowanego podczas ścierania powłok lakierowych PPT 1 i PPT 2, oraz współczynnika korekcyjnego $f = 1,050$ dla papieru ściernego użytego do badania odporności na ścieranie powłok lakierowych PPT 3 i PPUV 1.

The value of IP parameter was corrected after taking into consideration corrective coefficient $f = 1.033$ for sand paper used during abrasion of lacquer coatings PPT 1 and PPT 2 and corrective coefficient $f = 1.050$ for sand paper used for testing of abrasion resistance of lacquer coatings PPT 3 and PPUV 1.

**) Wartość średnia ze skorygowanych wartości IP obliczonych dla 3 badanych próbek, zaokrąglona do najbliższych dziesiątek.

Mean value from corrected IP values calculated for 3 tested samples rounded to the nearest tens.

Uwaga: w przypadku wszystkich badanych powłok lakierowych na MDF jako IP uważano taką liczbę obrotów stolika aparatu Tabera po dokonaniu której wyraźnie rozpoznawalne przetarcie powłoki lakierowej do podłożowej płyty MDF wystąpiło w 4 kwadrantach powierzchni próbki.

Note: In the case of all tested lacquer coatings on MDFs the IP was such number of Taber apparatus table revolutions after which in 4 quadrants of a sample area wear through of lacquer coating on base MDF was clearly visible.

Wyniki badań wskazują, przy uwzględnieniu różnicy między wartościami średniej grubości powłoki, że utwardzona promieniowaniem UV powłoka PPUV 1 wykazała odporność na ścieranie mniejszą niż powłoka PPT 1 utworzona z farby proszkowej utwardzonej termicznie (tabele 1, 2).

W tabeli 3 zaprezentowano wyniki badań odporności na zarysowanie powłok PPT oraz powłoki PPUV 1 poddanych klimatyzacji w warunkach opisanych wcześniej. Wartości ocen końcowych podane w tabeli wskazują, że poddanie płyt MDF, wykończonych powłoką PPT, działaniu klimatu wilgotnego spowodowało wyraźne obniżenie odporności tej powierzchni na zarysowanie (powłoka PPT 2). Jeszcze większe obniżenie odporności na zarysowanie stwierdzono dla lakierowanych płyt, które klimatyzowano w warunkach klimatu suchego (powłoka PPT 3 – tabela 3). Zatem, przedstawione wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że warunki klimatyczne, w których przechowywane są elementy płyty MDF wykończone utwardzonymi termicznie powłokami proszkowymi, mogą wpływać na odporność tych powłok na zarysowanie, przy czym najkorzystniejszymi warunkami np. magazynowania wykończonych płyt okazały się warunki standardowe lub zbliżone do standardowych. Należy również zauważyć, że niezależnie od warunków klimatyzacji lakierowanych płyt MDF powłoki strukturyzowane (PPT 1, PPT 2, PPT 3), wytworzone na tych płytach, wykazały wyższą odporność na zarysowanie w porównaniu do gładkiej powłoki utwardzonej promieniowaniem UV (PPUV1).

Tabela 3. Odporność na zarysowanie powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV

Table 3. Resistance to scratching of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Odporność powłoki lakierowej na zarysowanie [N] <i>Resistance of lacquer coating to scratching [N]</i>			
	Oceny pośrednie (3 próbki) <i>Intermediate ratings (3 samples)</i>			Ocena końcowa <i>Final rating</i>
	I ₁	I ₂	I ₃	
PPT 1	13	14	14	14
PPT 2	12	11	12	12
PPT 3	10	12	11	11
PPUV 1	11	10	10	10

W tabeli 4 podano wyniki oceny odporności na uderzenie powłok lakierowych poddanych badaniom. Analiza wyników uzyskanych dla porównywanych powłok na płytowych elementach meblowych wskazuje, że wszystkie badane

powłoki wykazały stosunkowo dużą odporność na uderzenie. W odróżnieniu od poprzednio stwierdzonej małej odporności na zarysowanie powłoki PPUV 1, wykończenie to okazało się najbardziej odpornym na uderzenie spośród wszystkich 4 powłok poddanych badaniom. Powłoka lakierowa wytworzona z zastosowaniem farby proszkowej utwardzonej promieniowaniem UV wykazała bardzo dobrą plastyczność w szerokim zakresie energii uderzenia, włączając najwyższą energię uderzenia odpowiadającą wysokości swobodnego opadania ciężarka wynoszącej 400 mm. Oznacza to, że w efekcie uderzeń o najwyższych energiach nie stwierdzono żadnych drobnych pęknięć omawianej powłoki lakierowej (ocena uszkodzenia powłoki wynosiła „4” w 5-cio stopniowej skali). Wartości uzupełniającego parametru oceny, tzn. średniej średnicy śladu uderzenia na powierzchni pokazują, że średnice śladów powstałych w powłoce PPUV 1 były porównywalne z wymiarami śladów uderzenia, które powstały w powłoce proszkowej PPT 1.

Tabela 4. Odporność na uderzenie powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV

Table 4. Resistance to impact of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Wysokość uderzenia [mm] <i>Impact height [mm]</i>					
	10	25	50	100	200	400
	Ocena końcowa uszkodzenia powłoki lakierowej w skali ocen 5 – 1 (Średnica śladu uderzenia na powierzchni *) – mm) <i>Final rating of lacquer coating damage acc. to rating scale 5 – 1 (Diameter of impact trace on the surface *) – mm)</i>					
PPT 1	5 (0,0)	5 (0,0)	4 (2,9)	3 (3,4)	3 (5,1)	2 (6,2)
PPT 2	5 (0,0)	5 (0,0)	4 (3,2)	3 (5,0)	3 (5,5)	2 (6,6)
PPT 3	5 (0,0)	5 (0,0)	4 (3,5)	3 (4,6)	3 (4,8)	1 (5,4)
PPUV 1	5 (0,0)	4 (2,1)	4 (2,7)	4 (3,4)	4 (4,7)	4 (5,8)

*) Podana wartość jest wartością średnią średnicy śladu uderzenia na powierzchni obliczoną dla danej wysokości swobodnego opadania ciężarka.

Presented value is the mean value of diameter of impact trace on the surface calculated for a given height of free fall of a weight.

Tymczasem, powłoki utwardzone termicznie PPT 1 i PPT 2, poddane odpowiednio działaniu klimatu standardowego oraz wilgotnego, charakteryzowały się bardziej zróżnicowaną odpornością na uderzenie. W zakresie małych energii uderzenia ich odporność była podobna do wykazywanej przez powłokę PPUV 1. Przy stosowaniu większych energii uderzenia odporność omawianych powłok była znacznie gorsza w porównaniu z powłoką proszkową utwardzoną promieniowaniem UV. Drobne pęknięcia w obrębie śladu uderzenia pojawiły się na powierzchni tych powłok jako skutek uderzenia z wysokości 100 mm, natomiast dopiero uderzenie o największej energii (z wysokości 400 mm) spowodowało powstanie wyraźnych pęknięć powłoki jednak niewykraczających poza granice śladu uderzenia. Większe wartości średnich średnic śladów uderzenia, powstałych szczególnie na powłoce PPT 2, można przypisać wyższej wilgotności podłożowej płyty MDF, która sprzyja zwiększeniu jej plastyczności i, w efekcie, podatności na wgniecenia. Utwardzona termicznie powłoka PPT 3, którą poddano działaniu klimatu suchego, wykazała identyczną odporność na uderzenie w stosunku do powłok PPT 1 i PPT 2 w zakresie małej i pośredniej energii uderzenia. W efekcie uderzenia ciężarkiem, opadającym z wysokości 400 mm, w powłoce PPT 3 powstały wyraźne pęknięcia przekraczające granice śladu uderzenia (ocena uszkodzenia powłoki wynosiła „1” – tabela 4).

Termiczna odporność powłok z farb proszkowych na płytowych elementach meblowych w zależności od warunków ich klimatyzacji oraz sposobu utwardzenia powłoki

W tabelach 5 i 6 zestawiono oceny odporności na ciepło w próbach na sucho i mokro powłok z farb proszkowych na elementach płytowych, uprzednio poddanych działaniu różnych warunków klimatycznych. Najwyższą odporność na działanie ciepła w próbie na sucho wykazała powłoka lakierowa PPT 3. Odporność tej powłoki była najwyższa według obu opisanych wcześniej kryteriów oceny. Powłoka PPT 1, którą klimatyzowano w warunkach standardowych charakteryzowała się niższą niż PPT 3 odpornością na działanie suchego ciepła, przyjmując jako kryterium oceny najwyższą wartość temperatury metalowego bloku niepowodującą jeszcze widocznych zmian powłoki. Odporność tej powłoki oceniona z zastosowaniem uzupełniającego kryterium okazała się być porównywalna z odpornością powłoki PPT 3. Powłoka PPT 2 poddana działaniu klimatu wilgotnego wykazała najmniejszą odporność na działanie suchego ciepła według obu kryteriów oceny (tabela 5). Zaprezentowane wyniki wskazują na wpływ warunków klimatycznych, w których przechowywano płyty MDF wykończone powłokami z farby termoutwardzalnej, na odporność powierzchni tych płyt na działanie suchego ciepła.

Tabela 5. Odporność na działanie ciepła w próbie na sucho powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV
Table 5. Resistance to dry heat of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Odporność powłoki lakierowej na działanie suchego ciepła <i>Resistance of lacquer coating to dry heat</i>						
	dla 5 stopnia zmian ^{*)} <i>for the 5. grade of changes^{*)}</i>			dla 3 stopnia zmian ^{**)} <i>for the 3. grade of changes^{**)}</i>			Ocena końcowa <i>Final rating</i>
	Oceny jednostkowe obserwatorów <i>Individual ratings given by the observers</i>			Oceny jednostkowe obserwatorów <i>Individual ratings given by the observers</i>			
	Obserwator 1 <i>Observer 1</i>	Obserwator 2 <i>Observer 2</i>	Obserwator 3 <i>Observer 3</i>	Obserwator 1 <i>Observer 1</i>	Obserwator 2 <i>Observer 2</i>	Obserwator 3 <i>Observer 3</i>	
[°C]							
PPT 1	85	85	85	140	140	140	140
PPT 2	70	70	70	100	100	100	100
PPT 3	85	100	120	140	140	160	140
PPUV 1	70	70	70	120	85	85	85

^{*)} Najwyższa temperatura metalowego bloku, po oddziaływaniu której powłoka lakierowa na elemencie płytowym nie uległa zmianie (5 stopień w skali ocen według PN-EN 12722:2000) – stanowi podstawowe kryterium oceny.
The highest temperature of the metal block which caused no change to the lacquer coating on the panel (grade 5. of the rating scale acc. to PN-EN 12722:2000) – it is the basic assessment criterion.

^{**)} Najniższa temperatura metalowego bloku, po oddziaływaniu której powłoka lakierowa na elemencie płytowym uległa zmianie w stopniu 3 w skali ocen według PN-EN 12722:2000 – stanowi uzupełniające kryterium oceny.
The lowest temperature of the metal block which caused 3. grade change of the lacquer coating on the panel acc. to rating scale forth in PN-EN 12722:2000 – it is a complementary assessment criterion.

Powłoki z farby proszkowej utwardzonej termicznie poddane uprzedniemu działaniu trzech różnych klimatów nie uległy widocznym zmianom w efekcie oddziaływania temperaturą wynoszącą 70°C w ramach testu odporności na wilgotne ciepło (tabela 6). Uzyskane oceny odporności tych powłok wskazują, że warunki klimatyzowania płyt MDF wykończonych powłoką PPT nie wpływały na ich odporność na działanie wilgotnego ciepła.

Tabela 6. Odporność na działanie ciepła w próbie na mokro powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV

Table 6. Resistance to wet heat of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Odporność powłoki lakierowej na działanie wilgotnego ciepła ^{*)} <i>Resistance of lacquer coating to wet heat^{*)}</i> [°C]			
	Oceny jednostkowe obserwatorów <i>Individual ratings given by the observers</i>			Ocena końcowa <i>Final rating</i>
	Obserwator 1 <i>Observer 1</i>	Obserwator 2 <i>Observer 2</i>	Obserwator 3 <i>Observer 3</i>	
PPT 1	70	85	70	70
PPT 2	70	85	70	70
PPT 3	70	70	70	70
PPUV 1	55	< 55	< 55	< 55

^{*)} Najwyższa temperatura metalowego bloku, po oddziaływaniu której powłoka lakierowa na płycie MDF nie uległa zmianie (5 stopień w skali ocen według PN-EN 12721:2000).
The highest temperature of the metal block which caused no change to lacquer coating on MDF (grade 5. of the rating scale acc. to PN-EN 12721:2000).

Porównanie ocen odporności powłok lakierowych PPUV1 i PPT 1 na działanie ciepła wskazuje, że zarówno w próbie na sucho, jak i w próbie na mokro pierwsza z wymienionych powłok była wyraźnie mniej odporna. Różnica odporności na działanie ciepła pomiędzy powłoką PPT 1 a PPUV 1 jest szczególnie duża, jeżeli do analizy wyników stosuje się uzupełniające kryterium oceny (tabele 5, 6).

Porównywane powłoki z farb proszkowych wytworzone na płytach MDF, po uprzednim ich klimatyzowaniu w opisanych wcześniej warunkach, poddawano jeszcze innemu rodzajowi testu w celu sprawdzenia ich odporności termicznej. Był to test odporności na cykliczne działanie zmiennych temperatur (50°C → -20°C → 23°C). Wyniki oceny stanu uszkodzenia tych powłok po zakończeniu kolejnych cykli badania oraz końcowe rezultaty przeprowadzonych

testów przedstawiono w tabeli 7. Analiza tych wyników pozwala na stwierdzenie, że wśród zbadanych powłok największą odpornością na cykliczne oddziaływanie zmiennych temperatur charakteryzowała się powłoka utwardzona termicznie poddana działaniu klimatu suchego, czyli powłoka PPT 3, badana na płycie MDF o wilgotności równej 5,4% (tabela 1). Przy uwzględnieniu kryterium maksymalnej liczby cykli, wyraźnie mniejszą odporność wykazały powłoki lakierowe PPT 1 oraz PPT 2, badane na płytach MDF o średnich wilgotnościach równych odpowiednio 6,3% oraz 8,5%. Przyjmując jako kryterium oceny wskaźnik odporności na cykliczne działanie zmiennych temperatur należy stwierdzić, że w tym przypadku powłoka PPT 2 wykazała wyższą odporność w porównaniu z powłoką PPT 1, pomimo że pojedyncze pęknięcie pierwszej z wymienionych powłok nastąpiło już po 7 cyklu badania, a powłoki PPT 1 dopiero po 8 cyklu badania lecz na dwu z trzech badanych próbek. Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że powłoki z farby proszkowej utwardzone termicznie na płytach MDF, które poddano działaniu klimatu standardowego lub wilgotnego, były mniej odporne na cykliczne wahania temperatury powietrza w porównaniu z powłoką na płycie MDF sklimatyzowaną w klimacie suchym (PPT 3). Ponadto, w przypadku stosowania maksymalnej liczby cykli jako kryterium oceny tej właściwości powierzchni, można mówić o występowaniu relacji pomiędzy odpornością proszkowej powłoki lakierowej utwardzonej termicznie na cykliczne działania zmiennych temperatur a wilgotnością podłożowej płyty MDF (tabele 1, 7).

Biorąc pod uwagę wyniki oceny uszkodzenia powłoki lakierowej PPUV 1 pod wpływem cyklicznego działania zmiennych temperatur powietrza, należy uznać, że powłoka ta wykazała małą odporność lub okazała się nieodporną na działanie tego czynnika termicznego. Pierwsze drobne pęknięcia włoskowate powłoki wystąpiły na dwu z trzech badanych próbek już po 4 cyklu badania, natomiast po 6 cyklu włoskowate pęknięcia powłoki obserwowano już na wszystkich próbkach poddanych badaniom. Liczba stwierdzonych pęknięć powłoki PPUV 1 po kolejnych cyklach badania była coraz większa i osiągnęła wartość nawet kilkunastu pęknięć na jednej próbce po zakończeniu 10 cyklu badania.

Opisane uszkodzenia powłoki PPUV 1 na płycie MDF w efekcie cyklicznego oddziaływania na nią powietrza o zmiennych temperaturach dodatkowo świadczą o jej znacznie mniejszej odporności termicznej w porównaniu z powłoką PPT 1 utwardzoną termicznie (tabele 5, 6 i 7).

Tabela 7. Odporność na cykliczne działanie zmiennych temperatur powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promiowaniem UV
Table 7. Resistance to cyclic action of changing temperatures of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints

Oznakowanie powłoki lakierowej wg tabeli 1 <i>Marking of lacquer coating acc. to table 1</i>	Numer próbki <i>Number of the sample</i>	Numer cyklu badania <i>Number of test cycle</i>									Maksymalna liczba cykli ¹⁾ <i>Maximum number of cycles¹⁾</i>	X _A ²⁾ [%]	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			10
PPT 1	1	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	7	33
	2	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	×	×	×		
	3	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	2×	2×	2×		
PPT 2	1	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	6	67
	2	bp	bp	bp	bp	bp	bp	×	×	×			
	3	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp		
PPT 3	1	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	10	100
	2	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp			
	3	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp		
PPUV 1	1	bp	bp	bp	×	×	2×	2×	4×	4×	7×	3	0
	2	bp	bp	bp	bp	bp	2×	4×	6×	9×			
	3	bp	bp	bp	3×	4×	6×	8×	11×	13×			

¹⁾ Maksymalna liczba cykli, po której nie stwierdzono pęknięć na żadnej z badanych próbek powłoki z farby proszkowej.

Maximum number of cycles which caused no cracks on any of tested samples of powder paint coating.

²⁾ Wskaźnik odporności na cykliczne działanie zmiennych temperatur obliczony według równania (1).

Index of resistance to cyclic action of changing temperatures calculated acc. to equation (1).

bp – oznacza brak pęknięć powłoki lakierowej.

means no cracks on lacquer coating.

×

– oznacza, że w wyniku oceny powierzchni dokonanej po zakończeniu danego cyklu badania stwierdzono wystąpienie 1 pęknięcia powłoki.

means that 1 crack of the coating was observed after finishing of a given test cycle.

2×

– oznacza odpowiednio, że stwierdzono wystąpienie 2 pęknięć powłoki, itd.

means that 2 or more cracks of the coating, respectively, were observed.

Chemiczna odporność powłok z farb proszkowych na płytowych elementach meblowych w zależności od warunków ich klimatyzacji oraz sposobu utwardzenia powłoki

W tabeli 8 przedstawiono wyniki badań odporności powłok z farb proszkowych, wytworzonych na płytach MDF, na działanie wybranych zimnych płynów, zależnie od rodzaju płynu testowego i czasu jego kontaktu z badaną powłoką. Analiza końcowych ocen zmian powierzchni zestawionych w tabeli wskazuje, że powłoki utwardzone termicznie (PPT) poddane działaniu trzech różnych klimatów nie różniły się znacząco odpornością na długotrwałe (24 h) oddziaływanie zimnych płynów z trzech umownych grup płynów zastosowanych do badań. Nieliczne różnice w odporności tych powłok na długotrwałe działanie zimnych płynów dotyczą wyższej odporności powłoki PPT 2 na płamiące działanie herbaty w porównaniu do powłok PPT 1 i PPT 3, niższej odporności powłoki PPT 3 na działanie 10% węgla sodu w stosunku do powłok PPT 1 i PPT 2 oraz wyższej odporności powłoki PPT 3 na działanie chloraminą T w porównaniu do powłok PPT 1 i PPT 2. Ponadto należy zauważyć, że powłoki lakierowe utwardzone termicznie (PPT), niezależnie od warunków ich klimatyzacji, okazały się nieodporne na działanie 96% alkoholu etylowego i acetonu zarówno przy długim (24 h), jak i krótszych (6 h, 1 h i 10 min) czasach kontaktu tych chemikaliów z badanymi powłokami. W podsumowaniu powyższej analizy można stwierdzić, że powierzchnia płyt MDF wykończonych powłoką PPT, które poddano działaniu klimatu wilgotnego, wykazała najwyższą odporność na działanie nieagresywnych płynów, zaliczanych do I umownej grupy płynów. Analizując oddziaływania agresywnymi płynami (II i III umowna grupa płynów) nie można wskazać powłoki utwardzonej termicznie (PPT), która wyraźnie przewyższa pozostałe odpornością na działanie tych chemikaliów (tabela 8).

Oceny zmian powierzchni podane w tabeli 8 dla utwardzonej promieniowaniem UV powłoki PPUV 1 wskazują, że to wykończenie powierzchni płyty MDF charakteryzowało się wyraźnie mniejszą odpornością na działanie niektórych zimnych płynów w porównaniu do utwardzonej termicznie powłoki lakierowej PPT 1. Wykończenie proszkowe PPUV 1 wykazało znacznie większą podatność na zaplamienie kawą oraz było zdecydowanie mniej odporne na długo- i krótkotrwałe oddziaływanie 96% alkoholu etylowego i środka dezynfekującego, tzn. 2,5% chloraminy T.

Tabela 8. Odporność na działanie zimnych płynów powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych utwardzonych termicznie lub promieniowaniem UV w zależności od grupy płynów testowych i czasu ich oddziaływania na powłokę

Table 8. Resistance to cold liquids of coatings on MDFs made of thermosetting or UV-cured powder paints depending on the group of test liquids and time of their interaction with the coating

Grupa płynów Group of liquids	Rodzaj płynu testowego Type of test liquid	Oznakowanie badanej powłoki lakierowej wg tabeli 1 Marking of tested lacquer coating acc. to table 1																		
		PPT 1			PPT 2			PPT 3			PPUV 1									
		Ocena końcowa zmiany powierzchni w skali ocen 5–1 po oddziaływaniu płynu na badaną powłokę przez Final rating of surface change acc. to rating scale 5–1 after the interaction of a liquid with tested surface for																		
24 h	6 h	1 h	10 min	24 h	6 h	1 h	10 min	24 h	6 h	1 h	10 min	24 h	6 h	1 h	10 min	24 h	6 h	1 h		
I	Woda/Water	5	5 ^{*)}	–	–	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	
	Kawa/Coffee	4	5	–	–	4	5	–	4	5	–	–	2	2	3	4	–	–	–	
	Herbata/Tea	4	4	5	–	5	–	–	3	5	–	–	3	4	5	–	–	–	–	–
	Oil z oliwek/Olive oil	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	–	–	–	–
	Sok z czarnej porzeczki Blackcurrant juice	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–
	Alkohol etylowy 48% Ethyl alcohol 48%	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–
II	Kwas cytrynowy 10% Citric acid 10%	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	
	Węgiel sodu 10% Sodium carbonate 10%	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	4	5	–	–	5	–	–	–	
	Alkohol etylowy 96% Ethyl alcohol 96%	2	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	2	3	4	1	1	1	1	2
	Środek czyszczący Cleaning agent	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–	5	–	–	–
	Aceton/Acetone	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
III	Chloramina T 2,5% Chloramine T 2,5%	4	5	–	–	4	5	–	–	5	–	–	5	–	–	3	3	3	4	–
	Woda/Water	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	5	–	–	5	–	–	–	–

^{*)} oznacza, że zgodnie z zasadą opisaną w części metodycznej artykułu, nie przeprowadzono testu.
means that acc. to the principle described in the methodical part of the article a test was not carried out.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że warunki klimatyizowania płyt MDF wykończonych powłokami z termoutwardzalnej farby proszkowej wpływają na odporność tych powłok w obrębie poszczególnych badanych cech użytkowych, z wyjątkiem odporności powłoki na działanie wilgotnego ciepła. Analiza wyników badań wskazuje, że powłoka z farby proszkowej utwardzonej termicznie, stanowiąca wykończenie powierzchni płyt MDF poddanych 4-tygodniowemu działaniu klimatu suchego, wykazuje wyższą odporność na ścieranie, działanie suchego ciepła i cykliczne oddziaływanie zmiennych temperatur oraz charakteryzuje się niższą odpornością na zarysowanie i uderzenie w porównaniu do właściwości tej powłoki na płytach MDF sklimatyzowanych w warunkach standardowych. Utwardzona termicznie powłoka z tej samej farby proszkowej, stanowiąca wykończenie powierzchni płyt MDF poddanych 4-tygodniowemu działaniu klimatu wilgotnego, wykazuje wyższą odporność na działanie mało agresywnych zimnych płynów (płyny z I umownej grupy) oraz niższą odporność na działanie suchego ciepła w porównaniu do właściwości tej powłoki na płytach MDF przechowywanych w klimacie standardowym. Rezultaty porównania cech użytkowych powłok wytworzonych na płytach MDF z farb proszkowych: termoutwardzalnej lub utwardzonej promieniowaniem UV, pozwalają stwierdzić, że powłoka lakierowa utwardzona termicznie wykazuje wyższą odporność na: zarysowanie, ścieranie, działanie suchego i wilgotnego ciepła, cykliczne działanie zmiennych temperatur oraz oddziaływanie wybranych zimnych płynów (kawa, 96% alkohol etylowy i 2,5% chloramina T) w porównaniu z powłoką utwardzoną promieniowaniem UV. Powłoka z farby proszkowej utwardzonej radiacyjnie okazała się być bardziej odporną na uderzenie, szczególnie w zakresie większych energii uderzenia, niż powłoka lakierowa utwardzona termicznie.

Literatura

- Bauch H.** [1995]: Die elektrostatische Pulverlackierung von Holzwerkstoffen. Physikalische Grundlagen und technische Realisierungsmöglichkeiten. Holz [7]: B–G
- Bauch H.** [1998]: Pulverlackierung von Holzwerkstoffen vor dem Durchbruch? Materiały międzynarodowej konferencji „Möbeltage in Dresden”. IHD, Dresden
- Bauch H., Emmeler R., Krug D., Fuchs I.** [2007]: Powder coating on wood based materials – chances, requirements on materials and application technologies, reachable surface qualities with UV-hardening and thermosetting powder coatings. Drewno-Wood 50 [177]: 101 – 117
- Bodnar E.** [1993]: Powder coatings – a technology of the future. Part 1. Coating powder and competing paint technologies. European Coat. J. [9]: 642–655
- Bończa-Tomaszewski Z., Bańkowska A.** [2006]: UV dual curing powder coatings. Materiały 7 Międzynarodowej Konferencji nt. “Advances in coatings technology”. Warszawa

- Buysens K., Jacques K.** [2001]: UV powder coating for wood application. *European Coat. J.* [9]: 22–29
- Emmler R., Perez R., Caon C., Roux M.L., Bogelund J., Calver S., Van de Velde B., Adamczak Z.** [2005]: Testing furniture surfaces. Standard methods for wear resistance and long-term stability. *European Coat. J.* [9]: 30–33
- Fink D., Brindöpke G.** [1995]: UV curing powder coatings for heat sensitive substrates. *European Coat. J.* [9]: 606–608
- Frauman T.** [2000]: Acces all areas – Powder coating problems. *Product Finishing* 53 [7]: 16
- Jahn R., Laver H., Walvart C.** [2000]: Selecting pigments for coloured UV curable powder coatings. *Polymers Paint Colour J.* 190 [4428]: 16–18
- Krystofiak T., Proszyk S., Lis B.** [2006]: Uszlachetnianie powierzchni płyt MDF farbami proszkowymi. *Meble – Materiały i akcesoria* 7 [1]: 42, 44–45
- Krzoska-Adamczak Z.** [2000]: Lakiery proszkowe – uszlachetnianie powierzchni materiałów drewnopochodnych. *Lakiernictwo Przemysłowe* 7 [5]: 17–18
- Krzoska-Adamczak Z.** [2001]: Możliwości i bariery proszkowego malowania drewna. *Przemysł Drzewny* 52 [9]: 3–6
- Michaelis H., Stillert G.** [1999]: Pulverbeschichtung von Holzwerkstoffen. *JOT* [11]: 56–59
- Netuschil P., Schmich P.** [1996]: Pulverlackbeschichtung von Holz und Holzwerkstoffen
Ökologische Chancen und technische Möglichkeiten. *Holz-Zentralblatt* [68–69]
- Redshaw R.** [2006]: New horizons for MDF. *Polymers Paint Colour J.* 196 [4501]: 24–27
- Roux M.L.** [2004]: Environmentally friendly finishes for high performance wood for indoor uses (State of the Art through Cost E 18). *Congress papers, 4th International Woodcoatings Congress.* Hague
- Roux M.L.** [2005]: Powder coatings on wooden-based materials. Development and improvement of the appearance. *TUB III Dresden*
- Schmidt T.** [2004]: Powder coating medium-density fiberboard: a new approach to success. *Powder Coating* 15 [5]
- Świątliczny M.** [2002]: Materiały proszkowe w przemyśle drzewnym. *Przemysł Drzewny* 53 [6]: 11–13
- Witte F. M.** [1996]: Radiation curable powder coatings. *European Coat. J.* [3]: 115–117
- CEN/TS 15185:2005 (E)** Furniture – Assessment of the surface resistance to abrasion
- CEN/TS 15186:2005 (E)** Furniture – Assessment of the surface resistance to scratching
- PN-EN 12720:2000** Meble – Ocena odporności powierzchni na zimne płyny
- PN-EN 12721:2000** Meble – Ocena odporności powierzchni na ciepło w próbie na mokro
- PN-EN 12722:2000** Meble – Ocena odporności powierzchni na ciepło w próbie na sucho
- PN-EN 13722:2006** Meble – Ocena połyску powierzchni
- PN-EN 322:1999** Płyty drewnopochodne – Oznaczanie wilgotności
- PN-ISO 4211-4:1999** Meble – Badanie powierzchni – Ocena odporności na uderzenie
- PN-88/F-06100/07** Meble – Metody badań właściwości powłok lakierowych i laminowych. Oznaczanie odporności na działanie zmiennych temperatur
- Council Directive** 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations. *Official Journal L* 085 , 29/03/1999 P. 0001 – 0022
- Directive** 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC. *Official Journal of the European Union L* 143/87, 30.04.2004

RESEARCH ON WEAR AND TEAR RESISTANCE OF POWDER PAINT COATINGS ON FURNITURE ELEMENTS MADE OF MDFs

Summary

The aim of the research was to determine wear and tear resistance of powder paint coatings on MDFs depending on the characteristics of conditioning of lacquered board elements and manner of coating hardening.

The scope of the research encompassed preparation of elements of MDF (19 mm) with surfaces finished with coatings made of thermosetting or UV-cured powder paint. Then finished board elements were conditioned in the following climates: standard, humid, and dry. The scope included also testing and comparison of wear and tear properties of lacquer coatings on MDFs which were subjected to 4-week action of the above-mentioned climate conditions prior to testing. The conditioned coatings were tested in terms of their resistance to the following factors: mechanical (abrasion, scratching, impact), thermal (dry and wet heat, cyclic action of changing temperatures), and chemical (chosen cold liquids).

The research used standard methods for surface testing (European, international and national) including new methods developed jointly with European partners within the framework of FUNFACE project and described in technical specifications CEN/TS 15185:2005 and CEN/TS 15186:2005.

The conducted research lead to a conclusion that characteristics of conditioning of powder paint coatings hardened thermally on MDFs have an influence on resistance levels of these coatings concerning particular determined wear and tear properties, and especially on mechanical and thermal resistance of the coating in question except from coating resistance to wet heat. The conclusions from the analysis of the test results suggest that thermally hardened lacquer coating subjected to 4-week action of dry climate conditions is more resistant to: abrasion, dry heat, and cyclic action of changing temperatures. It is also characterized by lower resistance to scratching and impact; whereas thermally set powder paint coating after 4-week storage in humid climate conditions proves to be more resistant to low corrosive cold liquids classified as the I conventional group of liquids and less resistant to dry heat. Moreover wear and tear resistance levels of powder paint coatings hardened thermally or with UV cured on MDFs and then subjected to 4-week action of standard climate conditions were compared. The results of this comparison allow a statement that thermally set lacquer coating compared to UV cured lacquer coating is more resistant to: scratching, abrasion, dry and wet heat, cyclic action of changing temperatures, and chosen cold liquids like: coffee, 96% ethyl alcohol, and 2.5% chloramine T. Whereas UV cured powder paint coating compared with thermally set lacquer one is more resistant to impact, especially in the range of higher impact energies.

Keywords: powder paint, lacquer coating, MDF, wear and tear resistance, coating conditioning