

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Zastosowanie chromatografii gazowej do oznaczania wolnych monomerów i fotoinicjatorów w wykończeniach lakierowych na drewnie i materiałach drewnopochodnych

MAGDALENA WITCZAK, MAGDALENA KOMOROWICZ, HANNA WRÓBLEWSKA
INSTYTUT TECHNOLOGII DREWNA, ZAKŁAD OCHRONY ŚRODOWISKA I CHEMII DREWNA

Słowa kluczowe: drewno, tworzywa drzewne, monomery, fotoinicjatory, lakier UV

STRESZCZENIE

Omawiana praca poświęcona była badaniom wykończonych powierzchni drewna i tworzyw drzewnych (mebli). Celem pracy było sprawdzenie przydatności metody chromatografii gazowej do oznaczania wolnych monomerów i fotoinicjatorów w pokryciach lakierowych utwardzonych promieniowaniem UV. Badaniami objęto drewno sosnowe oraz płyty HDF wykończone akrylowymi lakierami UV. Analiza zawartości wolnych monomerów wykazała, że w badanych materiałach nie zostało przekroczone dopuszczalne stężenie wolnych monomerów 800 mg/m². Uzyskane rezultaty badań wskazują, że zastosowana metoda chromatografii gazowej jest odpowiednia do jakościowego i ilościowego oznaczania wolnych monomerów i fotoinicjatorów w pokryciach lakierowych UV. Otrzymane wyniki badań służą ocenie jakości i bezpieczeństwa gotowych wyrobów z drewna i tworzyw drzewnych.

The appliance of gas chromatography for the determination of free monomers and photoinitiators in lacquer coatings on wood and wood-based materials

Keywords: wood, wood composites, monomers, photoinitiators, UV lacquer

ABSTRACT

The presented research was dedicated to testing the finished surface of the wood and composite wood products (furniture). The aim of this study was to verify the suitability of gas chromatography method for determination of free monomers and photoinitiators for UV cured coatings. The study involved pine wood and HDF board finished with UV acrylic lacquer. Analysis of free monomers showed that in the investigated materials the permissible limit of 800 mg/m² total concentration of free monomers are not exceeded. The obtained results show that the method of gas chromatography is suitable for qualitative and quantitative determination of free monomers and photoinitiators in paint coatings cured by UV radiation. Results of research serve to assess the quality and safety of finished products of wood and wood materials.

1. WSTĘP

W walce o osiągnięcie zrównoważonego rozwoju naszej planety najwięcej uwagi poświęca się działaniom na rzecz ochrony środowiska, którym w krajach Unii Europejskiej towarzyszą często restrykcyjne uregulowania prawne. Należą do nich między innymi rozporządzenia w sprawie wymagań dotyczących ograniczenia emisji lotnych związków organicznych powstających w wyniku wykorzystywania rozpuszczalników organicznych w niektórych farbach i lakierach oraz ustalenia dopuszczalnych norm emisji [1-3]. Odpowiedzią przemysłu farb i lakierów na postawione wymagania jest eliminowanie z receptur lotnych rozpuszczalników i rozcieńczalników w celu ograniczenia poziomu emisji niebezpiecznych związków chemicznych [4-7]. Następuje rozwój produkcji wyrobów wodorozpuszczalnych i wodorozcieńczalnych, farb proszkowych i innych nie zawierających rozpuszczalników organicznych. Pośród wielu grup wyrobów lakierowych zastosowanie znajdują akrylowe polimery błonotwórcze, których produkcja w ostatnich latach dynamicznie wzrasta. Wynika to z właściwości polimerów akrylowych: niskiej toksyczności, dużej odporności na światło, temperaturę i inne agresywne czynniki oraz procesy starzeniowe. Polimery te stosowane są jako warstwy podkładowe i nawierzchniowe między innymi do wykańczania wyrobów z drewna i tworzyw drzewnych [5].

Szeroka oferta monomerów akrylowych (kwas akrylowy i jego liczne pochodne estrowe) wykazujących zróżnicowane właściwości, stwarza możliwości produkcji wyrobów lakierowych zarówno typu rozpuszczalnikowego, jak i wodorozcieńczalnego, przeznaczonych do nanoszenia oraz utwardzania różnymi metodami. Do metod stosowanych w skali przemysłowej należy utwardzanie promieniowaniem UV (promienniki rtęciowe dla transparentnych lakierów, promienniki galowe dla pigmentowanych) lub strumieniem elektronów [8].

Oprócz monomerów ważnymi składnikami akrylowych wyrobów lakierowych są fotoinicjatory. Substancje te są niezbędne do inicjowania szybkiej reakcji polimeryzacji oligomerów powłokotwórczych (poniżej 30 sekund) pod wpływem promieniowania UV. Najczęściej stosowanymi fotoinicjatorami są benzofenon i jego pochodne oraz pochodne tioksanonu [8, 9].

Nieprawidłowo prowadzony proces technologiczny utwardzania wyrobów lakierowych UV oprócz

pogorszenia jakości powłoki może, przy niedostatecznym usieciowaniu substancji błonotwórczej, spowodować emisję niezwiązanych monomerów akrylowych do środowiska, co stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka [9, 10]. Badania wyrobów wykończonych lakierami UV na obecność niezwiązanych substancji toksycznych w powłokach, podyktowane są zatem troską o bezpieczeństwo konsumentów. Na potrzeby przemysłu meblarskiego i tworzyw drzewnych przyjęta została ujednolicona metoda oznaczania zawartości wolnych monomerów i fotoinicjatorów w gotowych wyrobach [11]. Polega ona na oddzieleniu powłoki od podłoża drzewnego, ekstrakcji wolnych monomerów i fotoinicjatorów dichlorometanem oraz oznaczeniu ilościowym metodą chromatografii gazowej. Metoda chromatografii gazowej wykorzystywana jest również do oznaczania całkowitej ilości wolnych, nieprzereagowanych monomerów rozpuszczalnikowych oraz dyspersyjnych w poliakrylanowych klejach samoprzylepnych [12, 13].

Maksymalną dopuszczalną granicę stężeń sumy wolnych monomerów w utwardzonych promieniowaniem UV powłokach lakierowych ustalono na poziomie 800 mg/m². Jak dotąd nie została wyznaczona maksymalna granica stężeń dla fotoinicjatorów, mimo obowiązku oznaczania ich zawartości.

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie przydatności chromatografii gazowej do oznaczania wolnych monomerów i fotoinicjatorów w powłokach lakierowych utwardzanych promieniowaniem UV w aspekcie bezpieczeństwa produktu. Prowadzone badania miały charakter wstępny, rozpoznawczy.

2. MATERIAŁY I METODY

Badaniom poddano wykończone akrylowymi wyrobami lakierowymi UV cztery próbki gotowych elementów meblowych z drewna sosnowego oraz pięć próbek płyt pilśniowych typu HDF¹, które stanowiły zewnętrzne warstwy (okładzinowe) płyt komórkowych przeznaczonych dla meblarstwa i budownictwa.

Poszczególne próbki drewna sosnowego wykończone były czterema warstwami transparentnego lakieru akrylowego utwardzanego promieniowaniem UV. Proces uszlachetniania powierzchni

¹ High density fibreboard – płyta pilśniowa wysokiej gęstości.

Tabela 1 Ilość lakieru naniesiona na badane próbki płyt HDF
Table 1 The amount of lacquer applied to tested samples HDF board

Warstwy lakieru akrylowego	Próba 1 [g/m ²]	Próba 2 [g/m ²]	Próba 3 [g/m ²]	Próba 4 [g/m ²]	Próba 5 [g/m ²]
I. lakier podkładowy	40,5	43,9	41,1	56,6	46,3
II. lakier podkładowy					
III. lakier nawierzchniowy	41,5	56,5	62,6	74,5	65,9
IV. lakier nawierzchniowy					
V. lakier nawierzchniowy					
VI. lakier nawierzchniowy zabezpieczający	22,8	5,7	3,0	4,6	5,6
Łączna ilość zużytego lakieru	104,8	106,1	106,7	135,7	117,8

drewna sosnowego składał się z następujących etapów: szlifowania, bejcowania, suszenia, czterokrotnego naniesienia warstwy lakieru (dwie warstwy lakieru podkładowego, dwie warstwy lakieru nawierzchniowego). Każda naniesiona warstwa lakieru poddawana była procesowi utwardzania promieniowaniem UV. Próbki różniły się kolorami naniesionej na drewno bejcy – beżowym, czarnym, niebieskim i białym.

Próbki płyt pilśniowych wykończone zostały lakierem kryjącym (emalią) w kolorze białym. Proces uszlachetniania powierzchni płyt HDF składał się z etapów: szlifowania podłoża, dwukrotnego nanoszenia wyrobu lakierowego podkładowego, czterokrotnego nanoszenia warstwy lakierowej nawierzchniowej. Poszczególne warstwy lakierów utwardzano promieniowaniem UV. W Tabeli 1 zestawiono ilości lakieru podkładowego i nawierzchniowego przypadające na 1 m² powierzchni poszczególnych próbek.

Próbki pokryć lakierowych do badań uzyskano poprzez ich mechaniczne oddzielenie od podłoża (drewna, płyty). Zgodnie z przyjętą metodą warstwę pokrycia lakierowego należało zdjąć z podłoża w taki sposób, aby zawierała jak najmniej cząstek podłoża, a jednocześnie całość powłoki. Do odcięcia cienkich warstw powłoki o grubości 0,6–1,0 mm używano piły tarczowej. Próbkę powłoki o powierzchni 20 cm² umieszczano w kolbie stożkowej o pojemności 50 ml i ekstrahowano na wytrząsarce w temperaturze pokojowej przez 3 godziny stosując 25 ml dichlorometanu. Po tym czasie otrzymany ekstrakt odsączano i poddawano jakościowo-ilościowej analizie chromatograficznej.

Warunki analizy chromatograficznej:

- Chromatograf gazowy Dani, Master GC z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym,

- dozownik PTV, splitless 2 min, program temperaturowy dozownika: temperatura początkowa 40°C, przyrost temperatury 12°C/s do 280°C,
- kolumna kapilarna *Thermo TR-5MS* o długości 30 m, średnicy wewnętrznej 0,25 mm i grubości fazy stacjonarnej 0,5 µm, program temperaturowy kolumny: temperatura początkowa 40°C (2 min), przyrost temperatury 10°C/min do 120°C, przyrost temperatury 20°C/min do 280°C (5 min),
- gaz nośny – hel, stałe ciśnienie gazu nośnego – 0,07 MPa,
- objętość roztworu dozowanego do kolumny – 1 µl.

W analizie chromatograficznej zastosowano roztwory wzorcowe (w dichlorometanie) czternastu monomerów akrylowych oraz czterech fotoinicjatorów, które zestawiono w Tabeli 2.

Dla każdego roztworu przeprowadzono analizę w minimum trzech niezależnych powtórzeniach. Wykreślono pięciopunktowe krzywe kalibracyjne opisujące zależność pola powierzchni piku od stężenia analitu. Analizę jakościową badanych ekstraktów uzyskanych z powłok poszczególnych próbek przeprowadzono na podstawie czasów retencji wyznaczonych dla wzorców monomerów i fotoinicjatorów, a analizę ilościową oznaczonych związków przeprowadzono metodą kalibracji bezwzględnej – wzorca zewnętrznego.

3. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wyniki analizy zawartości wolnych monomerów i fotoinicjatorów w badanych powłokach lakierowych UV naniesionych na drewno sosny i płyty HDF zestawiono odpowiednio w Tabeli 3 i Tabeli 4. Podano w nich stężenia zidentyfikowanych

Tabela 2 Zastosowane wzorce monomerów i fotoinicjatorów

Table 2 Used standards of monomers and photoinitiators

Monomery	
1.	kwasy akrylowe
2.	akrylan 2-etyloheksylu
3.	akrylan izooktylu
4.	diakrylan 1,6-heksanodiolu
5.	diakrylan glikolu tripropylenowego
6.	diakrylan 1,3-butanodiolu
7.	diakrylan 1,4-butanodiolu
8.	diakrylan glikolu dietylenowego
9.	akrylan 2-hydroksyetylu
10.	akrylan hydroksypropylu
11.	diakrylan glikolu dipropylenowego
12.	tetraakrylan pentaerytrytu
13.	triakrylan pentaerytrytu
14.	triakrylan trimetylopropanu
Fotoinicjatory	
1.	benzofenon
2.	1-hydroksycykloheksylofenyloketon
3.	2-hydroksy-2-metylopropiofenon
4.	2-benzoilbenzoesan metylu

związków organicznych oraz sumę monomerów i fotoinicjatorów dla wszystkich przebadanych prób.

W badanych powłokach lakierowych UV naniesionych na drewno sosnowe w trzech próbkach w kolorze beżowym, czarnym i niebieskim nie zidentyfikowano wolnych monomerów, natomiast w próbce pokrytej lakierem w kolorze białym oznaczono diakrylan glikolu tripropylenowego w ilości 91 mg/m² i diakrylan glikolu dipropylenowego w ilości 38 mg/m² (w sumie 129 mg/m²). Występowanie wolnych fotoinicjatorów stwierdzono natomiast we wszystkich badanych próbkach powłok lakierowych naniesionych na drewno sosnowe. próbki koloru beżowego, czarnego i niebieskiego zawierały najwięcej benzofenonu (od 595 mg/m² dla próbki beżowej do 796 mg/m² dla próbki czarnej), następnie 2-hydroksy-2-metylopropiofenonu (od 325 mg/m² dla próbki niebieskiej do 556 mg/m² dla próbki czarnej) i kolejno 1-hydroksycykloheksylofenyloketonu (od 312 mg/m² dla próbki niebieskiej do 447 mg/m² dla próbki czarnej). Fotoinicjator 2-benzoilbenzoesan metylu został zidentyfikowany w niewielkiej ilości 23 mg/m² tylko w próbce koloru niebieskiego. Całkowita zawartość fotoinicjatorów

w badanych próbkach wyniosła 1295 mg/m² dla powłoki beżowej, 1799 mg/m² dla powłoki czarnej, 1263 mg/m² dla powłoki niebieskiej i tylko 515 mg/m² dla powłoki białej, w której benzofenon stanowił 190 mg/m², 2-hydroksy-2-metylopropiofenon – 248 mg/m², a 2-benzoilbenzoesan – 77 mg/m².

W badanych powłokach lakierowych naniesionych na próbki płyt HDF stwierdzono występowanie tych samych dwóch monomerów, które oznaczono w powłoce lakierowej na drewnie sosnowym (Tab. 3 i 4). Zawartość diakrylanu glikolu dipropylenowego wahała się w granicach od 120 mg/m² do 467 mg/m², a diakrylanu glikolu tripropylenowego od 101 mg/m² do 181 mg/m². Oznaczono również zawartość dwóch fotoinicjatorów: 1-hydroksycykloheksylofenyloketonu (88-198 mg/m²) i 2-hydroksy-2-metylopropiofenonu (24-45 mg/m²). Sumaryczna zawartość wolnych monomerów w powłokach lakierowych UV naniesionych na płyty HDF wynosiła od 221 mg/m² dla próby 3 do 613 mg/m² dla próby 1. Zawartość fotoinicjatorów ogółem w poszczególnych próbach płyt HDF wahała się od 142 mg/m² (dla próby 5) do 229 mg/m² (dla próby 4).

Zgodnie z wymaganiami dla producentów mebli suma ekstrahowalnych (niezwiązanych) monomerów nie powinna przekroczyć poziomu 800 mg/m². Dla wszystkich badanych prób wartość ta kształtowała się poniżej dopuszczalnej granicy stężeń (129-641 mg/m²).

Oznaczanie fotoinicjatorów jest również wymagane w celu ochrony konsumentów, jednak jak dotąd nie określono dopuszczalnego poziomu ich jednostkowej ani też sumarycznej ilości w badanych materiałach.

Zawartość wolnych monomerów była wyższa w powłokach naniesionych na płyty HDF niż na drewno sosnowe, natomiast zawartość fotoinicjatorów była wyższa w powłokach naniesionych na drewno sosnowe (Tab. 3 i 4). Różnice te mogą wynikać z wielu czynników związanych z typem lakieru, właściwościami podłoża, technologią nanoszenia powłoki i innych.

Ilość i jakość poszczególnych warstw lakierów nanoszonych na materiały drewnopochodne zależą od jakości podłoża i docelowego przeznaczenia gotowych wyrobów, a także warunków ich użytkowania. Na lite drewno bez wad o ładnym rysunku nanosi się z reguły mniejszą ilość warstw lakieru niż na płyty drewnopochodne (np. typu HDF), które dopiero pokryte grubą warstwą lakieru kry-

Tabela 3 Zawartość wolnych monomerów i fotoinicjatorów w powłokach lakierowych UV naniesionych na drewno sosnowe (LOD – 3 mg/m², LOQ – 10 mg/m²)

Table 3 The content of free monomers and photoinitiators in UV-cured lacquer coatings applied on pine wood (LOD – 3 mg/m², LOQ – 10 mg/m²)

Lp.	Związek chemiczny	Próba 1 [mg/m ²]	Próba 2 [mg/m ²]	Próba 3 [mg/m ²]	Próba 4 [mg/m ²]
MONOMER					
1.	Kwas akrylowy	<10	<10	<10	<10
2.	Akrylan 2-etyloheksylu	<10	<10	<10	<10
3.	Akrylan izooktylu	<10	<10	<10	<10
4.	Diakrylan 1,6-heksanodiolu	<10	<10	<10	<10
5.	Diakrylan glikolu tripropylenowego	<10	<10	<10	91
6.	Diakrylan 1,3-butanodiolu	<10	<10	<10	<10
7.	Diakrylan 1,4-butanodiolu	<10	<10	<10	<10
8.	Diakrylan glikolu dietylenowego	<10	<10	<10	<10
9.	Akrylan 2-hydroksyetylu	<10	<10	<10	<10
10.	Akrylan hydroksypropylu	<10	<10	<10	<10
11.	Diakrylan glikolu dipropylenowego	<10	<10	<10	38
12.	Tetraakrylan pentaerytrytu	<10	<10	<10	<10
13.	Triakrylan pentaerytrytu	<10	<10	<10	<10
14.	Triakrylan trimetylopropanu	<10	<10	<10	<10
Suma monomerów		<10	<10	<10	129
FOTOINICJATOR					
1.	Benzofenon	595	796	603	190
2.	1-hydroksycykloheksylofenyloketon	225	447	312	<10
3.	2-hydroksy-2-metylopropiofenon	475	556	325	248
4.	2-benzoilbenzoesan metylu	<10	<10	23	77
Suma fotoinicjatorów		1295	1799	1263	515

jącego stanowią atrakcyjny materiał do stosowania w meblarstwie i budownictwie. Podobnie, im trudniejsze warunki użytkowania (wilgotność, temperatura), tym większa ilość warstw lakieru nanoszona na materiał drzewny. Grubość powłok lakierowych UV nanoszonych na materiały meblarskie może wahać się od 50 do 400 μm. Według Proszyka [5] przeciętne łączne zużycie wyrobów lakierowych na wykańczaną powierzchnię płyt pilśniowych twardych sześcioma warstwami lakieru wynosi 105 g/m², w tym 15 g/m² stanowi szpachlówka akrylowa, 40 g/m² stanowi podkład (2 warstwy emalii akrylowej) i tyleż samo dwie warstwy akrylowej emalii nawierzchniowej, a 10 g/m² – nawierzchniowa warstwa zabezpieczająca (lakier akrylowy). Badane w ramach tej pracy powłoki lakierowe UV naniesione na płyty HDF składały się również z 6 warstw, przy czym łączne zużycie lakierów dla 3 próbek kształtowało się na poziomie 104,8 – 106,7 g/m² (Tab. 1). Na po-

zostałe dwie próbki naniesiono w sumie 117,8 i 135,7 g/m² wyrobów lakierowych. Na podstawie przeprowadzonych badań nie stwierdzono prostej zależności między zawartością wolnych monomerów i fotoinicjatorów a ilością wyrobów lakierowych naniesionych na płyty HDF. Badane próbki wykończonego drewna sosnowego były próbkami handlowymi i nie uzyskano bliższych informacji o ilości wyrobów lakierowych naniesionych na m² powierzchni.

Do wykańczania powierzchni drewna i tworzyw drzewnych mogą być stosowane akrylowe lakier UV zawierające w swym składzie jeden lub kilka związków wymienionych w Tabeli 2 [5, 8]. Analiza chromatograficzna posłuży zatem do poszukiwania w utwardzonych powłokach lakierowych wszystkich wymienionych związków. W przypadku stwierdzenia obecności wolnego monomeru lub fotoinicjatora zyskujemy informację, że były one zastosowane w nanoszonym

Tabela 4 Zawartość wolnych monomerów i fotoinicjatorów w powłokach lakierowych UV naniesionych na płyty HDF (LOD – 3 mg/m², LOQ – 10 mg/m²)

Table 4 The content of free monomers and photoinitiators in UV-cured lacquer coatings applied on HDF board (LOD – 3 mg/m², LOQ – 10 mg/m²)

Lp.	Związek chemiczny	Próba 1 [mg/m ²]	Próba 2 [mg/m ²]	Próba 3 [mg/m ²]	Próba 4 [mg/m ²]	Próba 5 [mg/m ²]
MONOMER						
1.	Kwas akrylowy	<10	<10	<10	<10	<10
2.	Akrylan 2-etyloheksylu	<10	<10	<10	<10	<10
3.	Akrylan izooktylu	<10	<10	<10	<10	<10
4.	Diakrylan 1,6-heksanodiolu	<10	<10	<10	<10	<10
5.	Diakrylan glikolu tripropylenowego	146	135	101	181	176
6.	Diakrylan 1,3-butanodiolu	<10	<10	<10	<10	<10
7.	Diakrylan 1,4-butanodiolu	<10	<10	<10	<10	<10
8.	Diakrylan glikolu dietylenowego	<10	<10	<10	<10	<10
9.	Akrylan 2-hydroksyetylu	<10	<10	<10	<10	<10
10.	Akrylan hydroksypropylu	<10	<10	<10	<10	<10
11.	Diakrylan glikolu dipropylenowego	467	164	120	460	214
12.	Tetraakrylan pentaerytrytu	<10	<10	<10	<10	<10
13.	Triakrylan pentaerytrytu	<10	<10	<10	<10	<10
14.	Triakrylan trimetylopropanu	<10	<10	<10	<10	<10
Suma monomerów		613	299	221	641	390
FOTOINICJATOR						
1.	Benzofenon	<10	<10	<10	<10	<10
2.	1-hydroksycykloheksylofenyloketon	129	116	88	198	118
3.	2-hydroksy-2-metylopropiofenon	45	28	42	31	24
4.	2-benzoilbenzoesan metylu	<10	<10	<10	<10	<10
Suma fotoinicjatorów		174	144	130	229	142

produkcje lakierowym, ale nie uległy pełnemu usieciowaniu w procesie naświetlania promieniami UV. Stwierdzenie nieobecności któregośkolwiek z badanych związków informuje nas, że związek ten nie występował w nanoszonym wyrobie lakierowym, a jeżeli był obecny, to uległ całkowitemu usieciowaniu w procesie utwardzania promieniowaniem UV.

4. PODSUMOWANIE

Badania podjęte w tej pracy stanowiły wstępny, rozpoznawczy etap polegający na opanowaniu analityki oznaczania wolnych monomerów i fotoinicjatorów metodą chromatografii gazowej. Badania wykazały, że zastosowana metoda chromatografii gazowej nadaje się do oznaczania zarówno jakościowego, jak i ilościowego wolnych monomerów i fotoinicjatorów w powłokach lakierowych UV.

W badanych powłokach naniesionych na drewno sosnowe i płytę HDF stwierdzono występowanie dwóch spośród czternastu monomerów oraz wszystkich czterech fotoinicjatorów, które mogą występować w powłokach lakierowych UV stosowanych do wykańczania drewna i tworzyw drzewnych.

Badane powłoki lakierowe spełniły wymagania bezpieczeństwa stawiane wyrobom lakierowym pod kątem zawartości wolnych monomerów, ponieważ nie została przekroczona dopuszczalna granica sumy stężeń wynosząca 800 mg/m².

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (POŚ) – Dz. U. Nr 25/2008 r., poz. 150, ze zm. – art. 3, 169, 171, 348.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących ograniczenia emisji lotnych związków organicznych powstających w wyniku wykorzystywania rozpuszczalników organicznych w niektórych farbach i lakierach oraz w preparatach do odnawiania pojazdów – Dz. U. Nr 11/2007 r., poz. 72.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji – Dz. U. Nr 260/2005 r., poz. 2181, ze zm. – rozdział 6, załącznik nr 7, 8 i 9.
- [4] Kuczyńska H., Charakterystyka lakierów wodorozcieńczalnych, *Lakiernik*, nr 33, 2008.
- [5] Proszyk S., *Technologia tworzyw drzewnych 2. Wykończenie powierzchni*, Warszawa, WSiP, 1999, 60-101.
- [6] Rozporządzenie (WE) 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji oceny, udzielenia zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH).
- [7] Guide to the classification and labelling of UV/EB acrylates, Third edition, 31 October 2007, UV/EB Acrylate Resins Sector Group Cefic, Brussels, Belgium.
- [8] Przemysłowe lakierowanie powierzchni drzewnych, materiały informacyjne firmy Akzo Nobel.
- [9] Banecki J., Jakubiak R., *Badania odporności użytkowej pokryć z wyrobów lakierowych utwardzan promieniowaniem UV na płytowych elementach meblowych.*, Poznań, Instytut Technologii Drewna, 2009, ST-1-BMK/2009/K, 7-14.
- [10] Salthammer T., Bednarek M., Fuhrmann F., Funaki R., Tanabe S.-I., Formation of organic indoor air pollutants by UV-curing chemistry, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 152, 2002, 1-9.
- [11] IKEA IOS-TM-0002, wersja AA-14884-7 - Surface resistance – test methods. Test metod for determination of monomers and photo-initiators In UV-curved lacquer films by extraction.
- [12] Czech Z., Wesołowska M., Rogala P., Ocena wpływu nieprzereagowanych monomerów na właściwości poliakrylanowych klejów samoprzylepnych, *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, ABiD* 3/2006, 244-250.
- [13] Czech Z., Wesołowska M., Herko E., Zawartość lotnych związków organicznych w transferowych taśmach produkowanych przy zastosowaniu rozpuszczalnikowych samoprzylepnych klejów poliakrylanowych, *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, ABiD* 1/2008, 45-52.