

Grzegorz Kondziolka
PPG Polifarb, Cieszyn

LAKIERY I ŻYWICE ELEKTROIZOLACYJNE PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA NATURALNEGO

ENVIRONMENT FRIENDLY INSULATING RESINS

Streszczenie: W referacie przedstawiono analizę emisji szkodliwych substancji, uwalnianych do środowiska w procesie aplikacji lakierów oraz żywic elektroizolacyjnych. Wykonano analizę etapów aplikacji wyrobów elektroizolacyjnych (transport i magazynowanie, przygotowanie wyrobu, aplikacja właściwa, suszenie i utwardzanie, mycie oraz czyszczenie, utylizacja) w świetle uwalnianych w tym czasie zanieczyszczeń. Przedstawiono wpływ emisji na środowisko naturalne. Zanalizowano możliwości ograniczenia emisji poprzez zastosowanie nowych materiałów oraz optymalizację procesu impregnacji.

Abstract: The paper presents an analysis of the emission of harmful substances released into the environment in the process of applying varnishes and insulating resins. An analysis of the application stages of electro-insulating products (transport and storage, product preparation, proper application, drying and hardening, washing and cleaning, utilization) in the light of the pollutants released at that time was carried out. The impact of emissions on the natural environment is presented. The possibilities of reducing emissions through the use of new materials and optimization of the impregnation process were analyzed.

Wstęp

Oddziaływanie procesu impregnacji uzwojeń maszyn elektrycznych na środowisko naturalne nieodłącznie związane jest z zastosowaną technologią, na którą składa się: metoda aplikacyjna oraz rodzaj lakieru elektroizolacyjnego (LE). Przyjęty podział lakierów na rozpuszczalnikowe oraz bezrozpuszczalnikowe nie w pełni odpowiada charakterowi ich oddziaływania (emisji) na środowisko.

Lakiery elektroizolacyjne rozpuszczalnikowe

Wyroby te stanowią mieszaninę ciekłych żywic poliestrowych, alkidowych, epoxydowych z środkami sieciującymi jak żywice aminowe, fenolowe. Charakterystyczną cechą tych lakierów jest obecność w ich składzie lotnych substancji organicznych (LSO) w ilości ~ 50% a nawet więcej. Rozpuszczalniki w procesie suszenia lakieru muszą odparować stając się źródłem zanieczyszczenia powietrza, w nowych instalacjach mogą stać się źródłem energii po ich dopaleniu. Ich zaletą jest łatwość aplikacji, niska z reguły lepkość, odporność na zanieczyszczenia, bardzo dobra stabilność w czasie przechowywania, dobra elastyczność powłok. Wady to duża emisja LSO, długi czas suszenia, wrzenie w warunkach impregnacji próżniowej. W tej grupie lakierów znajdują się również lakiery wodne, cechujące się niekiedy

znakomitymi właściwościami eksploatacyjnymi po ich utwardzeniu, lecz zawsze wymagające zachowania dużego reżimu czystości linii oraz impregnowanych elementów.

Lakiery elektroizolacyjne bezrozpuszczalnikowe

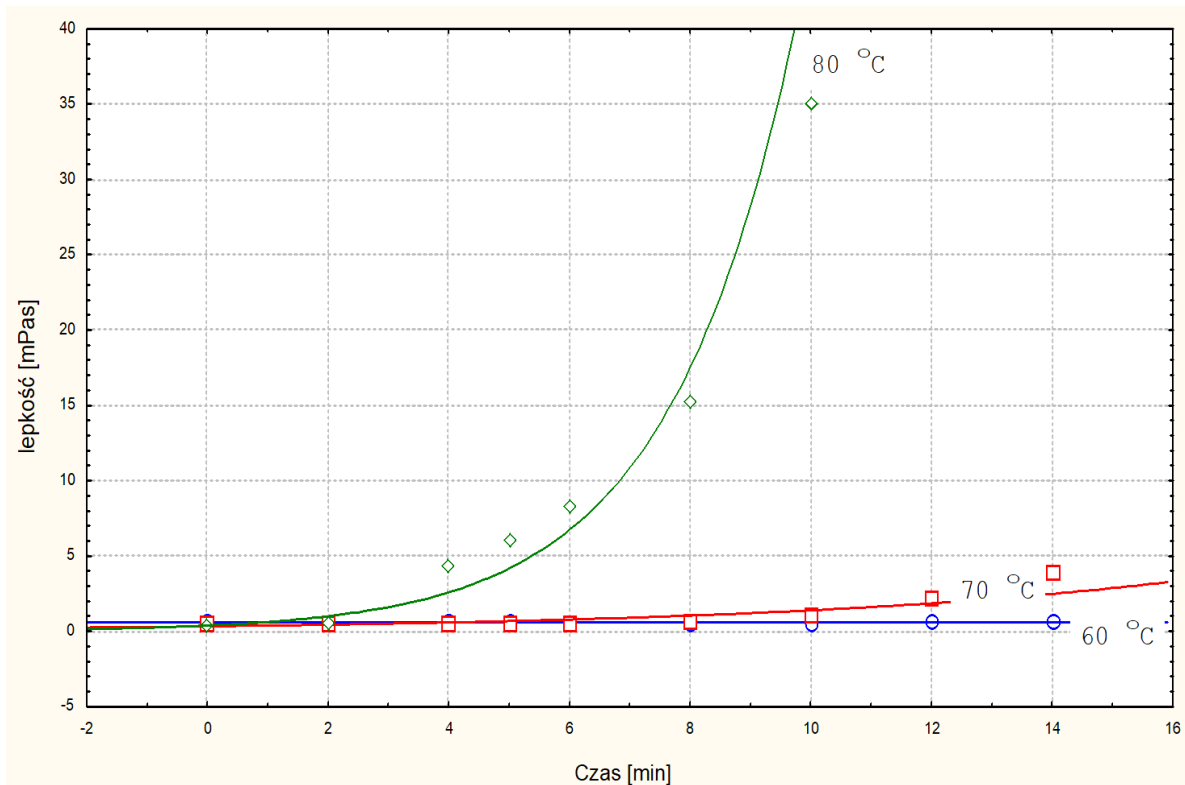
Nazwę zawdzięczają zastąpieniu typowego rozcieńczalnika wyparowującego w procesie suszenia, rozcieńczalnikiem reaktywnym (RR), wbudowującym się chemicznie w strukturę polimeru w procesie utwardzania lakieru. Ze względu na rodzaj użytego RR lakiery bezrozpuszczalnikowe dzielone bywają na: **lakiery styrenowe** oraz **bezstyrenowe**. W obu przypadkach z stanowią one roztwory nienasyconych żywic poliestrowych lub poliestrowoimidowych w RR. Niezbędnym dodatkowym komponentem tych układów jest inicjator, który może być dodawany przez wytwórcę lakierów – lakiery jednoskładnikowe, lub przez użytkownika – lakiery dwuskładnikowe. Reaktywnym rozpuszczalnikiem w przypadku **bezrozpuszczalnikowych lakierów styrenowych** jest styren lub mniej lotne jego pochodne np. winylotoluen. W przeciwieństwie do już omówionych, bezrozpuszczalnikowe **lakiery bezstyrenowe** w pełni zasługują na określenie bezrozpuszczalnikowe. Reaktywnym rozpuszczalnikiem RR w tym przypadku są niskolotne,

ciężkie monomery akrylowe, estry kwasu maleinowego, pochodne alkoholu allilowego. Odrębną grupę bezrozpuszczalnikowych syciw są **impregnaty epoksydowo-bezwodnikowe**, będące mieszaninami nisko-lepkich żywic epoksydowych z utwardzaczami bezwodnikowymi. Ich aplikacja jest możliwa wyłącznie w instalacjach ciśnieniowo-próżniowych z podgrzewanym autoklawem, zapewniając znakomite wypełnienie uzwojenia syciwem o bardzo dobrej wytrzymałości mechanicznej, odporności chemicznej i cieplnej.

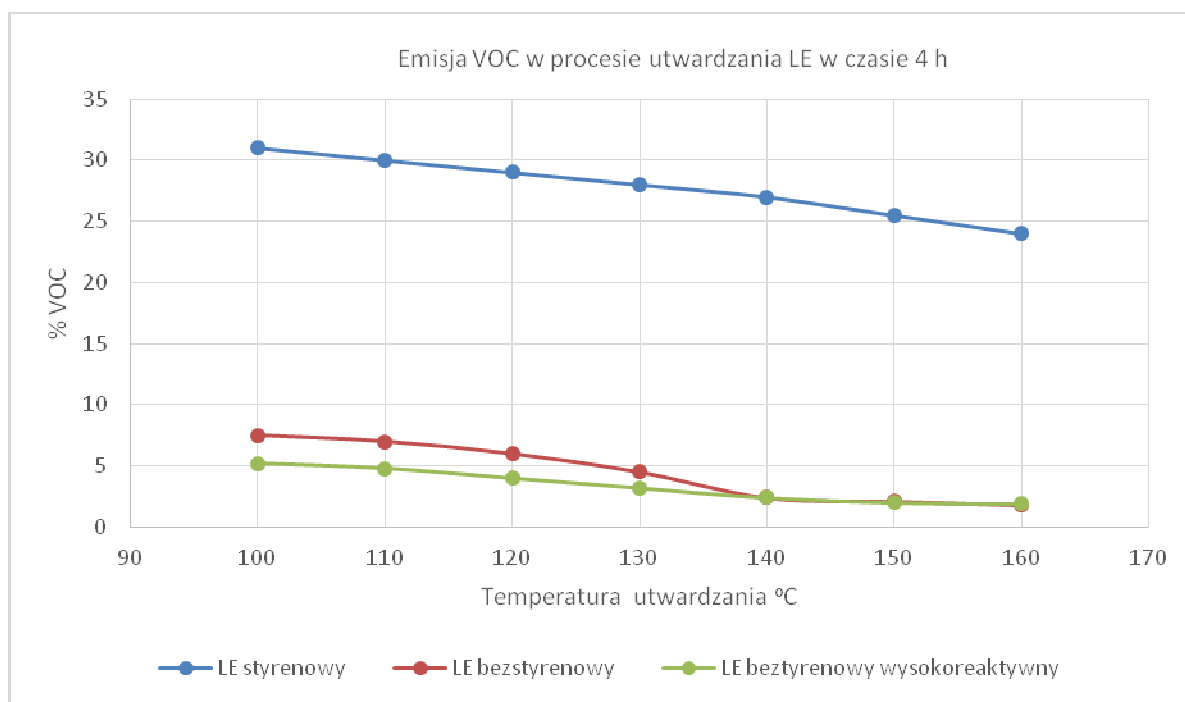
Impregnacja

Odziaływanie lakierów elektroizolacyjnych z różnym nasileniem oraz uciążliwością w stosunku do środowiska naturalnego ma miejsce na każdym etapie życia produktu: produkcja, transport i magazynowanie, przygotowanie do aplikacji, aplikacja, utwardzanie lakieru, czyszczenie oraz usuwanie resztek, utylizacja odpadów. Produkcja bez wyjątku wszystkich typów LE niesie z sobą emisję ubocznych produktów reakcji chemicznej (woda, metanol, formaldehyd, dwutlenek węgla), emisje odparowanych w procesie rozpuszczalników (węglowodory aromatyczne, alifatyczne, estry, alkohole), odpady opakowań. Transport oraz magazynowanie skutkuje emisją wyłącznie w przypadku niekontrolowanego uwolnienia, szkody transportowej, lub przeterminowania skutkującego koniecznością utylizacji produktu. Wymienione dotychczas możliwości emisji szkodliwych substancji związane z użytkowaniem LE dotyczą zasadniczo ich wytwórców, nie obciążając użytkowników finalnych. Ci ostatni stawić czoła muszą emisji związanej z bezpośrednim użytkowaniem LE, gdzie emisja LSO ma miejsce na etapie przygotowania LE do aplikacji, impregnacji, ocieku, suszenia – utwardzania oraz czyszczenia. Przygotowanie LE do aplikacji wymaga niekiedy dodania składnika inicjatora, zawsze wymieszania zawartości opakowania producenta, przeniesienie LE do instalacji impregnacyjnej, często wymagana jest stabilizacja mieszaniny roboczej. Wszystkim wymienionym czynnościom towarzyszy niewielka emisja LSO, uzależniona od rodzaju LE, temperatury otoczenia. Wystarczającym środkiem zapobiegawczym na tym etapie jest miejscowa wentylacja. Impregnacja uzwojeń, a zwłaszcza etap utwardzania LE niesie z sobą największą emisję LSO oraz zagrożenia.

Bezpośrednio impregnacji uzwojeń towarzyszy ociek lakieru, który o ile nie jest przeprowadzany w autoklawie skutkuje emisją LSO proporcjonalną do lotności rozpuszczalnika LE, powierzchni zaimpregnowanego urządzenia oraz temperatury otoczenia. Suszenie LE jest źródłem największego strumienia LSO emitowanego do otoczenia. W przypadku typowych lakierów rozpuszczalnikowych ok. 50% masy zaadsorbowanego lakieru w procesie suszenia musi zostać uwolnione w postaci LSO. Nie ma możliwości ograniczenia, w tym przypadku odparowania rozpuszczalnika, jednakże istnieje możliwość ograniczenia emisji do środowiska poprzez zastosowanie katalitycznych dopalaczy adsorberów lub skruberów. Aplikacji lakierów bezrozpuszczalnikowych niezależnie styrenowych bądź bez styrenowych towarzyszy możliwość znacznego wpływu na wielkość emisji LSO w trakcie suszenia lakieru. Wynika to z faktu iż te lakiery składają się z nienasyconej żywicy poliestrowej lub poliestrowo-imidowej, rozpuszczonej w reaktywnym rozpuszczalniku (RR), który w procesie utwardzania kopolimeryzuje – reaguje z żywicą, stając się stałą częścią spoiwa. W tym przypadku rozpuszczalnik zapewniający odpowiednio niską lepkość lakieru nie odparowuje, jak ma to miejsce w lakierach rozpuszczalnikowych, lecz wchodząc w reakcję chemiczną tworzy spoiwo stałe. Ten optymistyczny przebieg zdarzeń nie zachodzi jednakże w całym zakresie warunków utwardzania, a jedynie od momentu faktycznego zainicjowania reakcji polimeryzacji rodnikowej. Do czasu rozpoczęcia etapu polimeryzacji, RR narażony jest na odparowywanie stanowiąc szkodliwy strumień LSO. Natężenie emisji uwalnianego LSO proporcjonalne jest do aktualnej prężności par RR zależnej od temperatury nasączonego lakierem uzwojenia. Wraz ze wzrostem temperatury prężność par RR wzrasta przyspieszając jego uwalnianie, aż do osiągnięcia temperatury polimeryzacji. Od tego momentu pomimo gwałtownego wzrostu temperatury wywołanego m.in. przez egzotermiczny efekt reakcji polimeryzacji, wielkość uwalnianego strumienia LSO maleje na skutek wiązania RR w nielotny polimer. Fizycznym przejawem zachodzących zjawisk jest wzrost lepkości LE, wywołany odparowaniem RR oraz zainicjowaniem reakcji polimeryzacji.



Rys. 1. Lepkość w trakcie utwardzania



Rys. 2. Ubytek masy podczas utwardzania

Powyższy wykres odwzorowuje wzrost lepkości bez styrenowego, wysoko reaktywnego LE w trakcie utwardzania w temperaturze 60°C; 70°C oraz 80°C. Badany produkt stanowi lakier przeznaczony do aplikacji metodą kropłową, cechuje się krótkim czasem utwardzania (3-5

min. w temp. 150°C). W omawianym przypadku już temperatura 80°C gwarantuje szybkie zainicjowanie procesu polimeryzacji oraz przerwanie uwalniania strumienia LSO. Niewielkie obniżenie temperatury uzwojenia skutkuje wielokrotnym wydłużeniem czasu rozpoczęcia po-

limeryzacji, a wraz z nim emisji LSO. Bezrozpuszczalniki LE zawierające styren lub pochodne prezentują analogiczne właściwości, odróżniając się wielokrotnie większymi emisjami LSO. Zaprezentowany mechanizm utwardzania bezrozpuszczalnych LE pozwala wysnuć wniosek iż ograniczeniu emisji LSO sprzyja szybkie osiągnięcie temperatury Polimeryzacji lakieru. Na poparcie tej tezy przeprowadzono pomiar ubytku masy różnych typów LE bezrozpuszczalnych, utwardzanych w różnych temperaturach, co pokazano na rysunku 2.

Podsumowanie

Proces utwardzania LE zawsze skutkuje emisją strumienia LSO.

Wielkość emisji LSO zależna jest w pierwszej kolejności od rodzaju LE i wzrasta w kolejności:

- LE rozpuszczalnikowe

→ LSO= 50-60%

LE bezrozpuszczalnikowe styrenowe

→ LSO= 32-20%

LE bezrozpuszczalnikowe, bezstyrenowe

→ LSO =2-7%

W przypadku LE bezrozpuszczalnych duży wpływ na emisję LSO prezentuje czas osiągnięcia temperatury polimeryzacji - im krótszy tym mniejsza emisja LSO. Należy dążyć do wkładania zaimpregnowanych, ociekniętych elementów do nagranych do docelowej temperatury komór suszarniczych.

Wyżej reaktywne LE emitują mniejszy strumień LSO.

Źródło: badania własne autora