

Usuwanie mas zalewowych i lakierów elektroizolacyjnych z układów elektronicznych

Streszczenie. *W omawianym artykule przedstawiono wyniki badań nad dekapulacją chemiczną, czyli metodą usuwania zalew hermetyzujących obwody drukowane z elementami elektronicznymi przy pomocy rozpuszczalników. Dobrano skład rozpuszczalników odpowiednich dla żywic poliuretanowych, silikonowych i żywicy epoksydowej. Opracowano również emulsje wodno- rozpuszczalnikowe mogące zastąpić toksyczne lub łatwopalne rozpuszczalniki pokryć polimerowych.*

Słowa kluczowe: dekapulacja, recykling, hermetyzacja, rozpuszczalnik

Wstęp

Producenci stosują polimerowe warstwy hermetyzujące ze względu na ochronę środowiskową urządzeń, w zastosowaniach elektroizolacyjnych oraz by utrudnić użytkownikom poznanie szczegółów konstrukcji i wykonywanie samodzielnych napraw lub modyfikacji.

Dodatkowym, niepożądanym skutkiem hermetyzacji jest komplikacja procesów recyklingu urządzeń elektronicznych. Nie mniej ingerencja w układ często jest konieczna, i wówczas pojawia się problem usunięcia ochronnej warstwy polimerowej. Prac naukowych dotyczących powyższego zagadnienia jest niewiele [1]. Przydatne informacje można częściej znaleźć w publikacjach firm zajmujących się elektrotechnologią [2] oraz w katalogach firmowych opisujących działanie i właściwości preparatów usuwających pokrycia polimerowe (głównie silikonu) [3,4,5].

Najczęściej spotykane pokrycia poliuretanowe, silikonowe i epoksydowe są niestety nierozpuszczalne w popularnych rozpuszczalnikach których wybór jest i tak coraz bardziej ograniczany przez przepisy zakazujące stosowania niektórych ich odmian. Jednak całkowita rozpuszczalność nie jest konieczna. Efekt wystarczający polega na silnym zmiękczeniu i utracie przyczepności warstwy izolującej. Celem pracy było znalezienie rozpuszczalnika, lub kompozycji rozpuszczalników które powodują silną degradację silikonu, żywicy epoksydowej i poliuretanu.

Materiał badawczy

Do badań wytypowano 6 rozpuszczalników o znanym składzie chemicznym oznaczanych w przemyśle symbolami THF, DCT, DOVANOL, DMF, TCET, oraz popularny rozcieńczalnik uniwersalny „Dragon” zawierający toluen i izobutylen.

Zakres badanych rozpuszczalników rozszerzono o dwie własne mieszanki EM i EK będące wodnymi emulsjami trudno lotnych rozpuszczalników nieszkodliwych dla środowiska naturalnego.

Na podstawie przeglądu literatury zrezygnowano z testowania środków uznanych za całkowicie nieskuteczne (alkohole, węglowodory alifatyczne, proste estry), oraz środków powodujących zniszczenie płytki obwodu drukowanego, ścieżek przewodzących oraz elementów elektronicznych. Tabela 1 zawiera zestawienie zastosowanych rozpuszczalników.

Tabela 1. Rozpuszczalniki poddane badaniom.

Nr	Nazwa handlowa	Symbol	Gęstość [g/cm ³]
1	tetrahydrofuran	THF	0,89
2	2-chlorotoluen	DCT	1,082
3	Dowanol PM	DOV	0,919
4	N,N dimetyloformamid	DMF	0,94
5	trichloroetylen	TCEt	1,46
6	Rozc. Uniwersalny Dragon	RU	0,835
7	Emulsja K	EK	0,8
8	Emulsja M	EM	1,08

Próbki zalew elektroizolacyjnych wykonano z trzech odmian poliuretanowej żywicy elektroizolacyjnej, żywicy epoksydowej Epidian 52, oraz dwóch popularnych typów żywicy silikonowej (dwuskładnikowej poliaddycyjnej PA 21, oraz utwardzanej wilgocią powietrza).

Tabela 2. Polimery elektroizolacyjne.

Nr	Nazwa handlowa	Typ żywicy	Symbol	Wygląd	Gęstość [g/cm ³]
1	PA 21	silikon elastyczny dwuskładnikowy	PA21	Niebieski, elastyczny	1,05
2	Soudal	silikon utwardzany wilgocią	SA	Przezroczysty, elastyczny	1,04
3	Rencast FC 52	poliuretan twardy	FC 52	Biały, twardy	1,00
4	Arathane CW 5620	poliuretan elastyczny	CW 5620	Niebieski, elastyczny	1,44
5	Cristal 500	poliuretan przezroczysty	C	Przezroczysty, twardy	1,08
6	Epidian 52	epoksydowa	E 52	Przezroczysty, twardy	1,12

Metodyka badań

Próbki polimerów elektroizolacyjnych w postaci krążków średnicy 70 mm i grubości 2,5 mm zważono i umieszczono na 24 godziny w pojemnikach z badanymi rozpuszczalnikami. Na podstawie przyrostu masy spowodowanego absorpcją rozpuszczalnika o znanej gęstości obliczono stopień napęcznienia definiowany jako procentowy wzrost objętości polimeru. Pierwsze pięć pomiarów masy wykonywano co godzinę by zbadać dynamikę procesu, zaś ważenie końcowe wykonano po 24h.

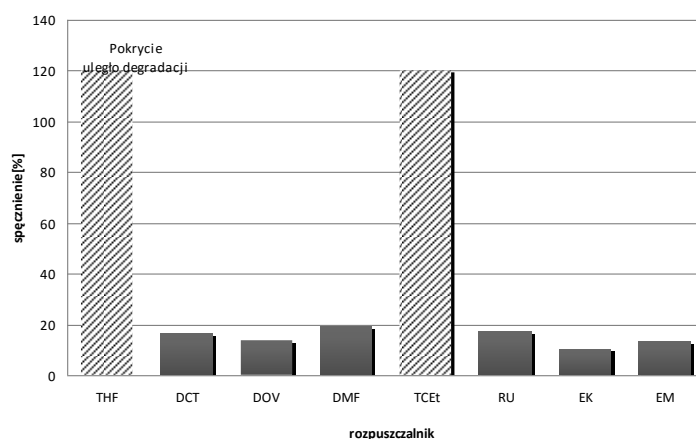
Założono iż dłuższe niż jedna doba prowadzenie procesu degradacji zalewy jest zbyt kłopotliwe w praktycznym stosowaniu.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

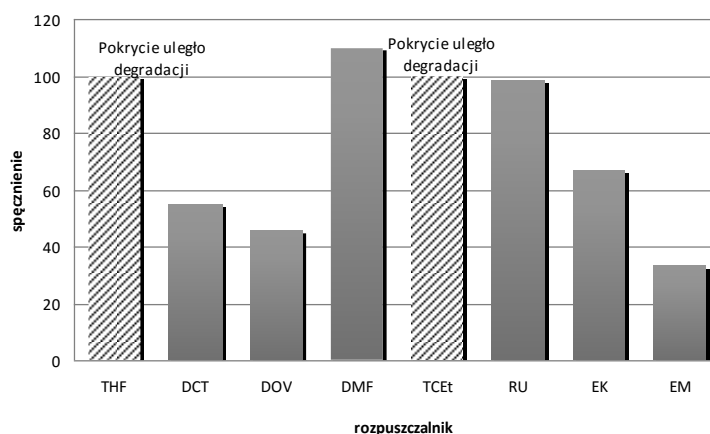
Następnie na próbkach obwodów drukowanych zahermetyzowanych żywicami sprawdzono rzeczywistą przydatność rozpuszczalników powodujących najsilniejsze pęcznienie.

Przedstawienie wyników

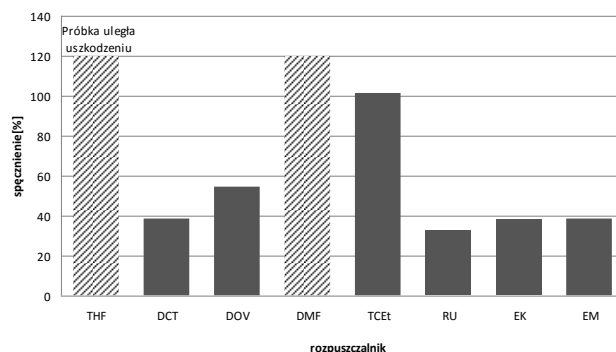
Uznany za ostateczny, występujący po 24 h przyrost objętości badanych poliuretanów przedstawiają rysunki 1-3 pokazujące stopień napęcznienia (procentowy przyrost objętości) w wybranych rozpuszczalnikach. Słupki paskowane odpowiadają rozpuszczalnikom powodującym całkowity rozpad pokrycia izolacyjnego uniemożliwiający zważenie próbek, więc ich wysokość jest umowna.



Rys. 1. Pęcznienie Poliuretanu Cristal 500 w badanych rozpuszczalnikach po 24h.

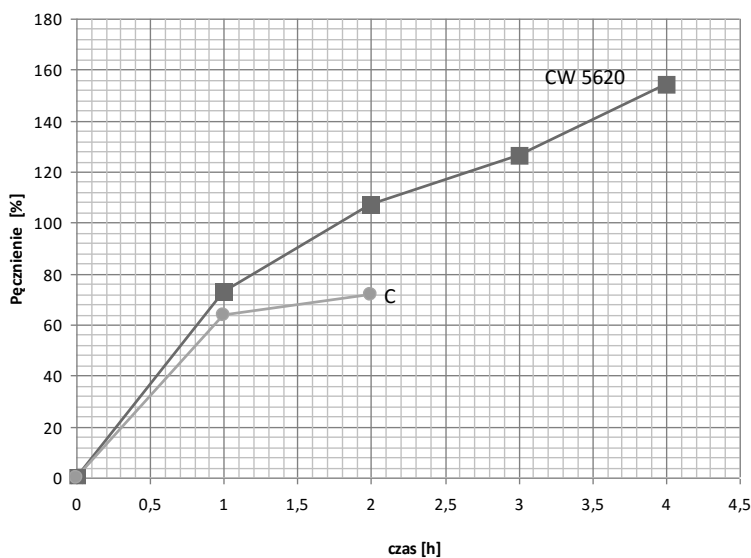


Rys. 2. Pęcznienie poliuretanu Arathane CW 5620 w wybranych rozpuszczalnikach po 24 h.



Rys. 3. Pęcznienie Poliuretanu Rencast FC 52 w badanych rozpuszczalnikach po 24h.

W przypadku pokryć poliuretanowych środkiem uniwersalnym, najszybciej działającym okazał się tetrahydrofuran (THF) powodujący rozpad próbki warstwy izolacyjnej w czasie od 1 do 5 h co przedstawia dokładniej rysunek 4. Próbka żywicy Rencast FC 52 uległa całkowitej degradacji w czasie krótszym niż 1h, stąd jej spęcznienie nie zostało zmierzone.



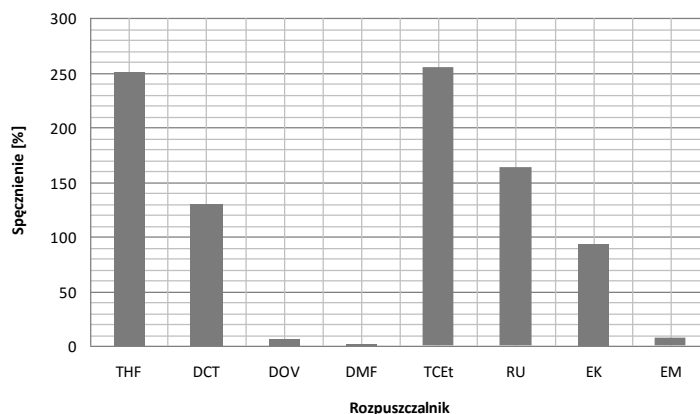
Rys. 4. Degradacja pokryć poliuretanowych w THF.

Środkami o podobnej skuteczności jak THF są również trichloroetylen (TCet) i dimetyloformamid (DMF) jednak nie na każdą odmianę poliuretanu działają równie szybko.

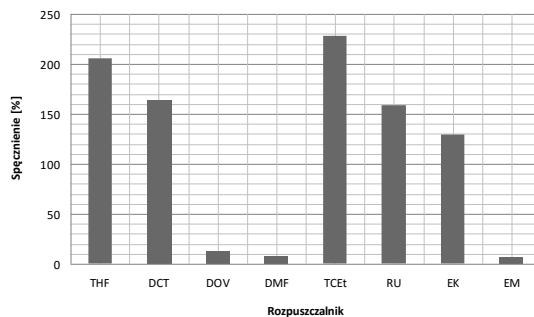
W powyższy sposób zbadano również przydatność rozpuszczalników do usuwania hermetyzacji wykonanej z żywic silikonowych oraz z żywicy epoksydowej E 52 przeznaczonej specjalnie do elektrotechniki.

Rezultat procesu prowadzonego przez 24 h przedstawiono na rysunkach 5 – 7.

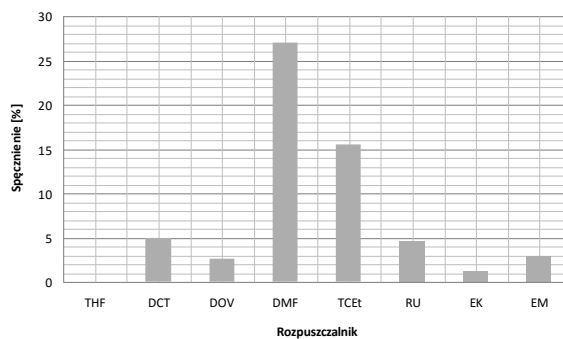
IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 5. Pęcznienie żywicy silikonowej PA 21 w wybranych rozpuszczalnikach po 24 h.



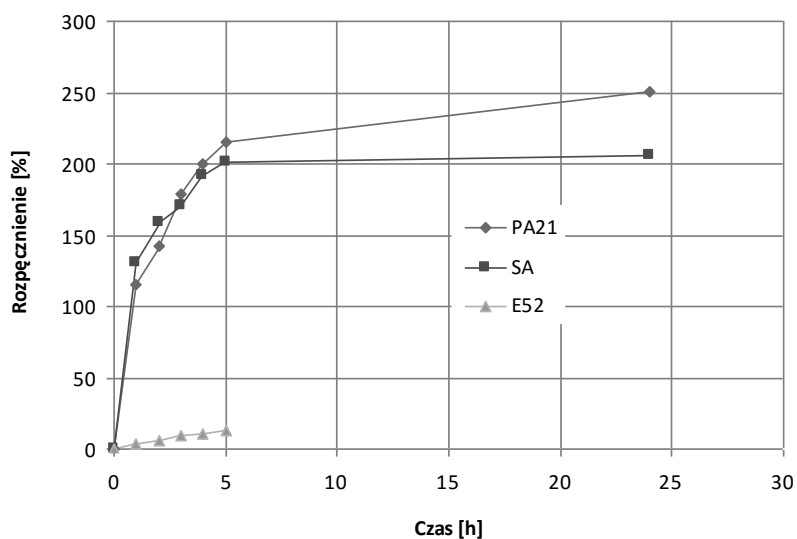
Rys. 6. Pęcznienie silikonu uniwersalnego addycyjnego w wybranych rozpuszczalnikach po 24 h.



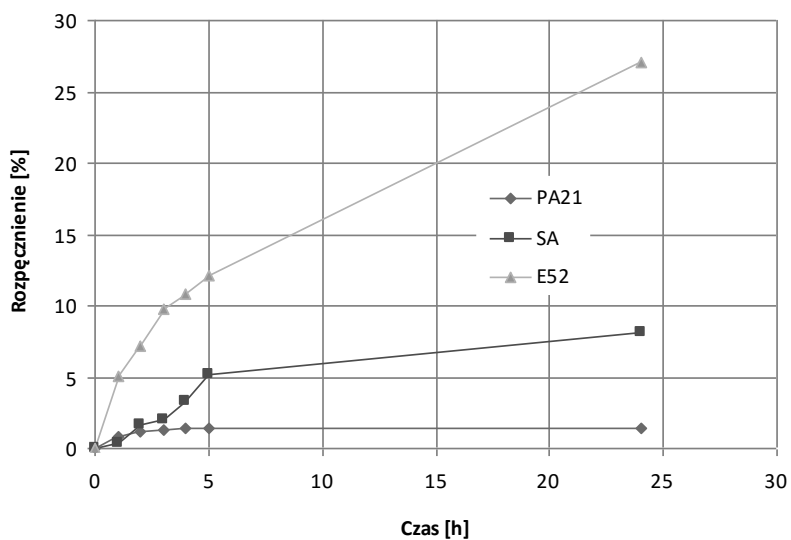
Rys. 7. Pęcznienie żywicy epoksydowej Epidian 52 w wybranych rozpuszczalnikach po 24 h.

Żywica epoksydowa zachowuje się w dosyć nieoczekiwany sposób gdyż po 5h jej spęcznienie w THF (rys. 8) osiąga niewysoką wielkość 12,5%, natomiast po 24 h

kruszeje i rozpada się całkowicie na drobne fragmenty. Jednak dotyczy to badania na próbce materiału w postaci płytki. Próba przeprowadzona z obwodem drukowanym pokrytym tą żywicą nie potwierdziła wysokiej skuteczności THF w przypadku żywicy epoksydowej. Znacznie lepszym środkiem usuwającym Epidian 52 okazał się DMF (rys. 9).



Rys. 8. Dynamika pęcznienia silikonów i żywicy epoksydowej w THF.

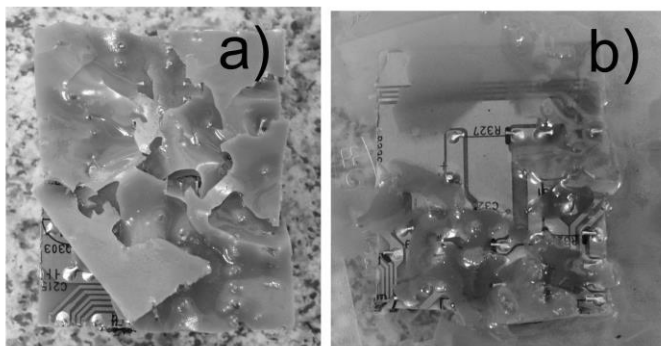


Rys. 9. Dynamika pęcznienia silikonów i żywicy epoksydowej w DMF.

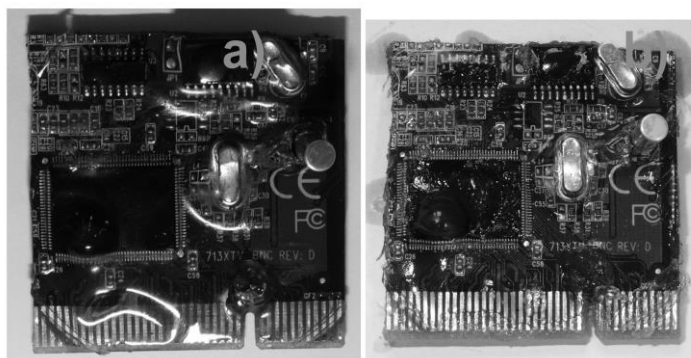
Dimetyloformamid (DMF) okazał się nieprzydatny w przypadku silikonów, jednak w praktyce jest jedynym ze zbadanych rozpuszczalników umożliwiającym całkowite usunięcie utwardzonej żywicy epoksydowej Epidian 52.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Testy praktycznej przydatności środków dekapulacyjnych

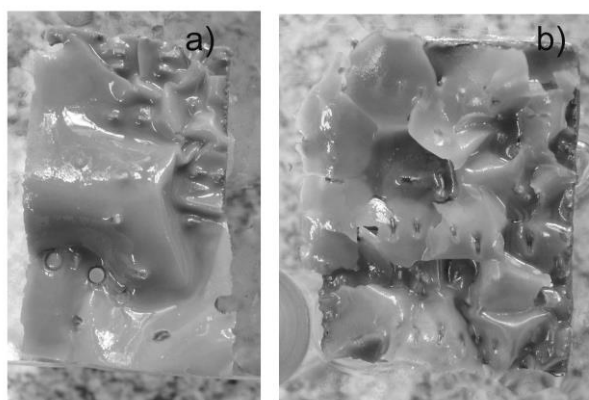


Rys. 10. Pokrycie z żywicy Arethane CW 5620 a) pod działaniem THF b) pod działaniem trichloroetyleny (TcEt).



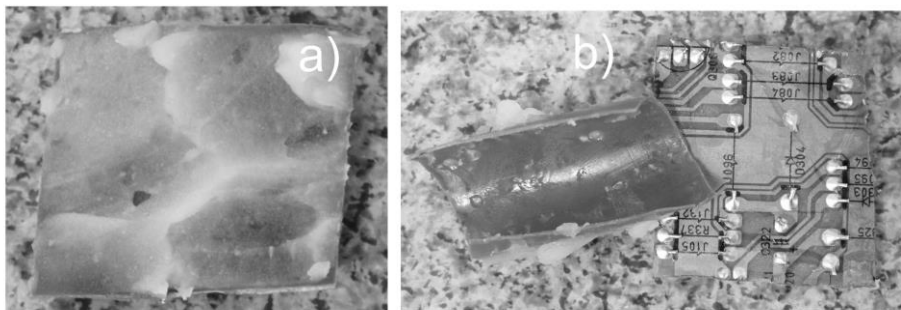
Rys. 11. Zamiana pokrycia epoksydowego w miękki żel pod wpływem DMF, a) stan początkowy, b) po degradacji pokrycia.

Testy przydatności wodnych emulsji EM i EK



Rys. 12. Działanie środków emulsyjnych na pokrycie poliuretanowe, a) emulsja EM, b) emulsja EK.

Z uwagi na lotność i toksyczne właściwości najskuteczniej działających rozpuszczalników opracowano w Katedrze Elektrotechnologii i Diagnostyki dwie emulsje wodne zawierające tylko 5 – 10% nielotnych rozpuszczalników, wodę, detergent oraz emulgator. Środki te zarówno w postaci ciekłej jak i zagęszczonej do formy pasty szybko usuwają hermetyzację poliuretanową oraz silikonową.



Rys. 13. Zastosowanie pasty EM do usuwania izolacji poliuretanowej, a) układ pokryty pastą, b) zmiękczenie pokrycia i jego usunięcie.

Wnioski

1. Na małą skalę (prototypy, konstrukcje eksperymentalne, badanie układów utajnionych) skutecznym sposobem usuwania zalewy poliuretanowej jest kąpiel w tetrawodorofuranie (THF), dimetyloformamidzie (DMF) lub w chlorowanych węglowodorach alifatycznych (TCET).
2. Pokrycia silikonowe ulegają degradacji w podobnych warunkach jak poliuretanowe, z tym że w ich przypadku dimetyloformamid nie jest skuteczny.
3. Usunięcie zalewy hermetyzującej wykonanej z żywicy epoksydowej Epidian 52 może być wykonane jedynie w kąpeli zawierającej dimetyloformamid.
4. W przypadku gdy konieczne jest spełnienie wymagań ochrony środowiska, niepalności i niskiej toksyczności dobrym rozwiązaniem są wodne emulsje EM i EK opracowane w Katedrze Elektrotechnologii i Diagnostyki ZUT.

Literatura

1. Hecke Angela, *Solvent-based decapsulation strategies of epoxy molded semiconductor devices*, Graz University of Technology, Austria, 19th Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry, YISAC 2012, FINAL PROGRAM.
2. Velderrain Michelle, NuSil Technology LLC, *Solutions and Solvents for Removing Silicone: A Practical Guide*, Solid State Technology.
3. Dynaloy Engineered Chemistries, *Silicone Removal Solvents*.
4. HG International b.v. , Preparat do usuwania silikonu, dane katalogowe.
5. NOVOL Sp. z o.o., Komorniki, PL, Zmywacz do usuwania silikonu, karta preparatu.

Autor: dr inż. Jerzy Pomianowski; Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: jpomianowski@zut.edu.pl