

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245088 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434501**

(22) Data zgłoszenia: **2020.06.29**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.01.03 BUP 01/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.05.13 WUP 20/2024**

(51) MKP:

C08L 63/02 (2006.01)

C08K 5/521 (2006.01)

C08K 5/527 (2006.01)

C08K 5/5357 (2006.01)

C08K 3/04 (2006.01)

C08K 3/08 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO
ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL
PODKARPACKIE CENTRUM INNOWACJI
SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**RAFAŁ OLIWA, Rzeszów, PL
KATARZYNA BULANDA, Uherce Mineralne, PL
MARIUSZ OLEKSY, Rzeszów, PL
GRZEGORZ MASŁOWSKI, Rzeszów, PL
KAMIL FILIK, Rzeszów, PL
GRZEGORZ KARNAS, Dylągówka, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Piotr Okarmus, Rzeszów, PL

(54) Tytuł:

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym oraz sposób otrzymywania samogasnącej kompozycji żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym

PL 245088 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym oraz sposób otrzymywania samogasnącej kompozycji żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, mającej zastosowanie zwłaszcza jako osnowa do formowania laminatów wzmocnionych włóknami.

Rosnące zapotrzebowanie na polimerowe kompozyty włókniste do wytwarzania wewnętrznych i zewnętrznych elementów konstrukcyjnych statków powietrznych, samochodów i środków transportu publicznego powoduje, że poza doskonałą wytrzymałością mechaniczną wymaga się od nich dodatkowo własności wpływających na minimalizację niekorzystnych efektów pochodzących od wyładowań atmosferycznych. Można tu wskazać dążenie do uzyskania dobrej przewodności elektrycznej, zdolności do ekranowania przed polem elektromagnetycznym oraz odporności na płomień. Obecnie poprawę przewodności elektrycznej kompozytów polimerowych uzyskuje się poprzez włączenie w ich strukturę materiałów przewodzących w postaci metalowej siatki, folii lub proszków metali. Stosowanie każdej z tych metod może powodować powstawanie miejscowych defektów struktury i obniżenie nośności kompozytu. Z kolei stosowane skuteczne uniepalniacze bromo i chloropochodne są wycofywane z uwagi na wydzielanie podczas pożaru toksycznych gazów i dymów. Ponadto, wprowadzenie uniepalniaczy addytywnych w postaci proszku powoduje znaczny wzrost lepkości kompozycji utrudniający uzyskanie jednorodnego kompozytu o odpowiednich właściwościach mechanicznych.

W literaturze znane są pozycje opisujące sposoby otrzymywania kompozycji polimerowych o bardzo dobrej przewodności elektrycznej oraz zwiększonej ognioodporności. W ostatnich latach takimi badaniami zajmowali się, np. Liberata Guadagno, Luigi Vertuccio, Carlo Naddeo i inni w swojej pracy pt. *Electrical Current Map and Bulk Conductivity of Carbon Fiber-Reinforced Nanocomposites* opublikowanej w czasopiśmie *Polymers* 2019, 11 (11), gdzie autorzy zastosowali odpowiednio zmodyfikowany proces infuzji do wytworzenia kompozytów wzmocnionych włóknem węglowym zaimpregnowanym żywicą zawierającą nanocząstki glicydylo-wielościennego oligomerycznego silseskwioksanu, który gwarantuje zwiększenie odporności na płomień oraz wielościennych nanorurek węglowych (wprowadzonych w celu kontrastowania właściwości izolacyjnych z żywicą epoksydową). W pracy oceniony został wpływ różnych ilości warstw (7, 14 i 24) na równoważny prąd elektryczny i przewodnictwo elektryczne prądu przemiennego. Wszystkie otrzymane panele wykazały bardzo wysokie wartości przewodności elektrycznej. Poza tym, po raz pierwszy panele kompozytu polimerowego wzmocnione włóknem węglowym analizowano techniką tunelowania za pomocą mikroskopii sił atomowych. Mapy prądu elektrycznego podkreśliły przewodzące elektrycznie trójwymiarowe sieci wbudowane w żywicę poprzez warstwy paneli. Testy elektryczne dowiodły również, że obecność nanocząstek glicydylo-wielościennego oligomerycznego silseskwioksanu umożliwiła zachowanie stabilności elektrycznej paneli.

Natomiast w pracy pt. *Flammability of electrically conductive composite dedicated for lightning strike protection* autorstwa Andrzeja Katunin oraz Marcina Bilewicza w czasopiśmie *Composites Theory and Practice* 2017, 17 (3), przedstawiono sposób otrzymywania w pełni organicznego kompozytu, który może być wykorzystany w lotnictwie. W artykule opisano przebieg testów palności (z pomiarem temperatury spalania) wykonanych dla klasycznego kompozytu wzmacnianego tkaniną węglową, a także dla opracowanego przewodzącego polimeru (mieszanina żywicy epoksydowej i polianiliny domieszkowana kwasem kamforosulfonowym) i kompozytu wzmacnianego tkaniną węglową na bazie tego polimeru do celów porównawczych. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że opracowany kompozyt charakteryzuje się dostatecznie niską palnością.

Z japońskiego opisu zgłoszeniowego JPH 06128411 A znany jest sposób otrzymywania, elektrycznie przewodzącej, trudnopalnej kompozycji, którą uzyskano poprzez zmieszanie 100 części wagowych termoutwardzalnej żywicy oraz od 20 do 200 części wagowych łuszczonego grafitu potraktowanego uprzednio kwasem. Otrzymano kompozycję przewodzącą elektrycznie oraz opóźniającą palenie bez zwiększania lepkości otrzymanej mieszanki.

Z publikacji japońskiego opisu zgłoszeniowego JPS 61207464 A znany jest sposób otrzymywania ognioodpornej, elektrycznie przewodzącej kompozycji poprzez zmieszanie żywicy termoplastycznej (np. polipropylenu lub poliamidu), elektrycznie przewodzącego włókna metalicznego (np. włókno miedzi lub stali nierdzewnej), organicznego związku halogenowego (np. tribromopolistyrenu lub tribromofenolu) o masie cząsteczkowej 1000 lub większej i temperaturze plastyfikacji niższej niż temperatura plastyfikacji zastosowanej żywicy; środka zmniejszającego palność (np. tlenku antymonu lub tlenku glinu). Preferowany stosunek mieszania organicznego związku halogenowego oraz środka zmniejszającego

palność wynosi 6/1–2/1 wagowo. Dodatkowo można wprowadzić między innymi stabilizator termiczny, przeciwutleniacza, środek rozdzielający, barwnik.

Z publikacji międzynarodowego opisu zgłoszeniowego WO 2009013680 A2 znany jest sposób otrzymywania kompozycji o zmniejszonej palności, doskonałej przewodności i właściwościach fizycznych, która zawiera żywicę termoplastyczną, środek zmniejszający palność (w tym sól metalu kwasu fosfinowego, kwasu disfosfinowego lub ich kombinację), ewentualnie co najmniej jeden związek azotu (wybrany spośród benzoguaniny, estru tereftalowego tris(hydroksyetylo) izocyjanuranu, allontoiny, glikolurilu, cyjanuranu melaminy, fosforanu melaminy, fosforanu dimelaminy, pirofosforanu melaminy, melamu melonu), mieszaniny zawierającej co najmniej jeden z podanych związków azotowych, elektrycznie przewodzący wypełniacz i środek wzmacniający.

Z polskich opisów patentowych PL 225910B1 oraz PL 224582 B1 znane są odporne na płomień kompozycje małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej z dodatkiem synergicznie działających nanonapełniaczy i antypirenow zawierających fosfor, krzem i azot. Jednak znaczny udział masowy tych dodatków w kompozycji żywicy epoksydowej ogranicza zastosowanie jej w technologii kompozytów wzmocnionych włóknami ciągłymi. Ponadto, kompozycja ta charakteryzuje się właściwościami izolacyjnymi co dodatkowo obniża możliwości aplikacyjne w materiałach stosowanych jako zewnętrzne elementy konstrukcyjne statków powietrznych i środków transportu lądowego.

Rozwiązania znane ze stanu techniki nie pozwalają na uzyskanie kompozycji żywicy epoksydowej o wysokiej odporności na wyładowania atmosferyczne przy zachowaniu wysokich właściwości mechanicznych.

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej, zawierająca uniepalniacze fosforowe oraz napełniacze przewodzące prąd elektryczny, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera od 20 do 25% ciekłych uniepalniaczy fosforowych w postaci ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz ciekłego fosforanu trietylu, od 2 do 5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, napełniacze w postaci od 0,1 do 0,2% mas. grafenu o średnicy od 5 do 25 μm , od 1 do 3% mas. nanocząstek miedzi oraz od 0,4 do 0,75% mas. sadzy przewodzącej, a także od 0,5 do 1,5% mas. środka zmniejszającego lepkość oraz od 0,1 do 0,5% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów.

Korzystnie zawartość ciekłych uniepalniaczy fosforowych wynosi 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu.

Sposób otrzymywania samogasnącej kompozycji żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny, według wynalazku charakteryzuje się tym, że do dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się od 0,5 do 1,5% mas. środka zmniejszającego lepkość, od 0,1 do 0,5% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz od 2 do 5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, od 20 do 25% mas. ciekłych uniepalniaczy fosforowych w postaci ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu i ciekłego fosforanu trietylu oraz napełniacze w postaci: od 0,1 do 0,2% mas. grafenu o średnicy od 5 do 25 μm , od 1 do 3% mas. nanocząstek miedzi oraz od 0,4 do 0,75% mas. sadzy przewodzącej, a następnie całość homogenizuje się.

Korzystnie w pierwszej kolejności do żywicy epoksydowej dodaje się bezsilikonowy środek odpowietrzający, środek zmniejszający lepkość oraz rozcieńczalnik aktywny, po czym całość miesza się mechanicznie z prędkością 500–800 obr./min. w temperaturze pokojowej, a po zakończeniu mieszania dodaje się ciekłe uniepalniacze fosforowe, po czym całość miesza się mechanicznie z prędkością 500–800 obr./min. w temperaturze pokojowej.

Dalsze korzyści uzyskiwane są, jeśli w pierwszej kolejności do żywicy epoksydowej dodaje się środek zmniejszający lepkość, bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się z prędkością obrotową od 500 do 800 obr./min. w temperaturze pokojowej.

Kolejne korzyści uzyskiwane są, jeżeli każdy z napełniaczy dodaje się w postaci oddzielnej mieszaniny z rozcieńczalnikiem aktywnym i uniepalniaczem fosforowym.

Następne korzyści uzyskiwane są, jeśli każda z mieszanin napełniacza z rozcieńczalnikiem aktywnym oraz uniepalniaczem fosforowym jest przed jej dodaniem do żywicy epoksydowej, homogenizowana ultradźwiękowo w temperaturze 50–60°C.

Dalsze korzyści uzyskuje się, jeśli każdorazowo homogenizację ultradźwiękową każdej z mieszanin napełniacza z rozcieńczalnikiem aktywnym oraz uniepalniaczem fosforowym prowadzi się przez 10 minut.

Kolejne korzyści uzyskiwane są, jeżeli po dodaniu napełniaczy całość homogenizuje się mechanicznie w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50–60°C z prędkością obrotową 6000–10000 obr./min.

Następne korzyści uzyskuje się, jeżeli homogenizację mechaniczną prowadzi się każdorazowo przez 10 minut.

Dalsze korzyści uzyskiwane są, jeśli po dodaniu napełniaczy całość homogenizuje się ultradźwiękowo w temperaturze 50–60°C.

Kolejne korzyści uzyskiwane są, jeżeli homogenizację ultradźwiękową po dodaniu napełniaczy prowadzi się przez 30 minut.

Następne korzyści uzyskiwane są, jeśli jako uniepalniacze fosforowe stosuje się 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosforianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu.

Dalsze korzyści uzyskuje się, jeżeli stosuje się żywicę epoksydową o lepkości od 500 do 800 mPas.

Kompozycja żywicy epoksydowej otrzymana sposobem według wynalazku zawiera układ ciekłych uniepalniaczy i dodatków przewodzących, dzięki czemu pozwala na otrzymanie kompozytów włóknistych o poprawionej odporności na efekty wyładowań atmosferycznych przy zachowaniu wysokich wskaźników wytrzymałości mechanicznej. Proponowane rozwiązanie dotyczy zastosowania ciekłych uniepalniaczy fosforowych oraz odpowiednio dobranych dodatków poprawiających homogeniczność i lepkość mieszaniny umożliwiających wprowadzenie i równomierne zdyspergowanie napełniaczy i nanonapełniaczy przewodzących prąd elektryczny. Opracowany skład i sposób homogenizacji kompozycji żywicy epoksydowej umożliwia uzyskanie samogasnących kompozytów epoksydowo-włóknistych o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym oraz charakteryzujących się właściwościami mechanicznymi na poziomie niemodyfikowanych kompozytów. Zastosowane ciekłe uniepalniacze oraz napełniacze przewodzące działają synergicznie pod kątem poprawy odporności na efekty wyładowań atmosferycznych przy zachowaniu wysokich właściwości mechanicznych.

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, w pierwszym przykładzie wykonania, jest na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Zawiera uniepalniacze fosforowe w postaci 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosforianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Ponadto kompozycja zawiera napełniacze przewodzące w postaci 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 µm oraz 1% mas. nanocząsteczek miedzi.

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, w drugim przykładzie wykonania, jest na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Zawiera uniepalniacze fosforowe w postaci 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosforianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Ponadto kompozycja zawiera napełniacze przewodzące w postaci 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 25 µm oraz 1% mas. nanocząsteczek miedzi.

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, w trzecim przykładzie wykonania, jest na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Zawiera uniepalniacz fosforowy w postaci 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosforianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Ponadto kompozycja zawiera napełniacze przewodzące w postaci 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 µm oraz 3% mas. nanocząsteczek miedzi.

Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, w czwartym przykładzie wykonania, jest na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Zawiera uniepalniacz fosforowy w postaci 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosforianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Ponadto kompozycja zawiera napełniacze przewodzące w postaci 0,75% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 µm oraz 1% mas. nanocząsteczek miedzi.

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w pierwszym przykładzie realizacji, jest na bazie małocząsteczkowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość oraz modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μm oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małocząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napełniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodano 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza, po dokładnym wymieszaniu, wylano do form silikonowych na kształtki do badań wytrzymałościowych. Kompozycję utwardza się przez 24 godziny w temperaturze pokojowej, a potem przez 5 godzin w temperaturze 100°C. Uzyskane w ten sposób kształtki miały właściwości wytrzymałościowe, odporność na płomień oraz rezystywność powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości użytkowe kształtek otrzymanych z niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz kształtek otrzymanych z kompozycji uzyskanej w pierwszym przykładzie realizacji (MK1).

Właściwość ↓ \ Symbol kompozytu →	EP	MK1
Napężenie zrywające, [MPa]	39,2±2,1	42,3±1,2
Moduł Younga, [GPa]	2,31±0,41	2,57±0,45
Napężenie zginające, [MPa]	89,5±8,2	90,4±5,1
Moduł sprężystości, [GPa]	2,75±0,24	3,00±0,33
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	18,9±0,3	23,8±0,2
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-0
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	1024,0±45,1	296,1±16,2
Rezystywność powierzchniowa [Ω/sq]	2,00E+16	2,30E+7
Rezystywność objętościowa [Ωcm]	1,50E+16	2,00E+8

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w drugim przykładzie realizacji, jest na bazie małocząsteczkowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość oraz modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μm oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małocząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi;

mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napełniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu wykorzystuje się jako osnowę do formowania metodą infuzji laminatów wzmocnionych pięcioma warstwami tkaniny węglowej o splocie 2/2 i gramaturze 220 g/m² o wymiarach 40x40 cm. Otrzymane laminaty utwardzono w temperaturze pokojowej przez 24 godziny po czym odformowano i dotwardzono w temperaturze 100°C przez 5 godzin. Laminaty te charakteryzowały się właściwościami mechanicznymi, odpornością na płomień oraz rezystywnością powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości użytkowe laminatów wzmocnionych tkaniną węglową z osnową niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz uniepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny (K1).

Symbol kompozytu → Właściwość ↓	EP	K1
Napężenie zrywające, [MPa]	368,7±20,5	490,3±19,2
Moduł Younga, [GPa]	45,14±6,03	46,23±4,86
Napężenie zginające, [MPa]	620,2±38,5	597,5±24,1
Moduł sprężystości, [GPa]	39,03±1,78	44,38±3,57
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	19,2±0,3	24,5±0,1
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-1
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	340,6±27,5	147,1±21,3
Rezystywność powierzchniowa [Ω/sq]	0,1298	0,0636
Rezystywność objętościowa [Ωcm]	0,0198	0,0082

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w trzecim przykładzie realizacji, jest na bazie małowiskotowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość oraz modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 25 μm oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małowiskotowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napełniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje się 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza, po dokładnym wymieszaniu wylewa do form silikonowych na kształtki do badań wytrzymałościowych. Kompozycję utwardza się przez 24 godziny w temperaturze pokojowej, a potem przez 5 godzin w temperaturze 100°C. Uzyskane w ten sposób kształtki miały właściwości wytrzymałościowe, odporność na płomień oraz rezystywność powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 3.

Tabela 3. Właściwości użytkowe kształtek otrzymanych z niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz uniepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napelniaczy przewodzących prąd elektryczny (MK2).

Właściwość ↓ / Symbol kompozytu →	EP	MK2
Naprężenie zrywające, [MPa]	39,2±2,1	39,8±1,0
Moduł Younga, [GPa]	2,31±0,41	2,35±0,31
Naprężenie zginające, [MPa]	89,5±8,2	86,1±3,5
Moduł sprężystości, [GPa]	2,75±0,24	2,51±0,43
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	18,9±0,3	23,6±0,2
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-0
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	1024,0±45,1	280,1±24,7
Rezystywność powierzchniowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω/sq]	2,00E+16	7,20E+7
Rezystywność objętościowa (metoda 3-elektrodowa) [Ωcm]	1,50E+16	8,00E+8

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w czwartym przykładzie realizacji, jest na bazie małowiskotowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość oraz modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 25 μm oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małowiskotowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie homogenizuje się przy użyciu miksera mechanicznego przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napelniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbiniowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu wykorzystuje się jako osnowę do formowania metodą infuzji laminatów wzmocnionych pięcioma warstwami tkaniny węglowej o splocie 2/2 i gramaturze 220 g/m² o wymiarach 40x40 cm. Otrzymane laminaty utwardzono w temperaturze pokojowej przez 24 godziny po czym odformowano i dotwardzono w temperaturze 100°C przez 5 godzin. Laminaty te charakteryzowały się właściwościami mechanicznymi, odpornością na płomień oraz rezystywnością powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 4.

Tabela 4. Właściwości użytkowe laminatów wzmocnionych tkaniną węglową z osnową niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz uniepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napelniaczy przewodzących prąd elektryczny (K2).

Właściwość ↓	Symbol kompozytu →	
	EP	K2
Napężenie zrywające, [MPa]	368,7±20,5	431,3±18,4
Moduł Younga, [GPa]	45,14±6,03	2,57±0,45
Napężenie zginające, [MPa]	620,2±38,5	541,5±32,8
Moduł sprężystości, [GPa]	39,03±1,78	39,09±1,34
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	19,2±0,3	24,5±0,1
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-1
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	340,6±27,5	157,2±10,4
Rezystywność powierzchniowa (metoda VdP) [Ω /sq]	0,1298	0,0636
Rezystywność objętościowa (metoda VdP) [Ω cm]	0,0198	0,0082

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w piątym przykładzie realizacji, jest na bazie małowiskotowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Kompozycję epoksydową modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 25 μ m oraz 1% mas. nanocząstek miedzi. W pierwszej kolejności do dianowej, małowiskotowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napelniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu, wylewa się do form silikonowych na kształtki do badań wytrzymałościowych. Kompozycję utwardza się przez 24 godziny w temperaturze pokojowej, a potem przez 5 godzin w temperaturze 100°C. Uzyskane w ten sposób kształtki miały właściwości wytrzymałościowe, odporność na płomień oraz rezystywność powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 5.

Tabela 5. Właściwości użytkowe kształtek otrzymanych z niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz kompozytów z niepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny (MK3).

Symbol kompozytu →	EP	MK3
Właściwość ↓		
Napężenie zrywające, [MPa]	39,2±2,1	30,4±1,5
Moduł Younga, [GPa]	2,31±0,41	2,47±0,24
Napężenie zginające, [MPa]	89,5±8,2	84,4±3,1
Moduł sprężystości, [GPa]	2,75±0,24	2,92±0,31
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	18,9±0,3	23,8±0,2
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-0
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	1024,0±45,1	237,1±12,8
Rezystywność powierzchniowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω /sq]	2,00E+16	1,80E+7
Rezystywność objętościowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω cm]	1,50E+16	8,10E+7

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w szóstym przykładzie realizacji, jest na bazie małocząsteczkowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako niepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Kompozycję epoksydową modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μ m oraz 3% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małocząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min, w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę niepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę niepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę niepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napełniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu, wykorzystuje się jako osnowę do formowania metodą infuzji laminatów wzmocnionych pięcioma warstwami tkaniny węglowej o splocie 2/2 i gramaturze 220 g/m² o wymiarach 40x40 cm. Otrzymane laminaty utwardzono w temperaturze pokojowej przez 24 godziny po czym odformowano i dotwardzono w temperaturze 100°C przez 5 godzin. Laminaty te charakteryzowały się właściwościami mechanicznymi, odpornością na płomień oraz rezystywnością powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 6.

Tabela 6. Właściwości użytkowe laminatów wzmocnionych tkaniną węglową z osnową niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz uniepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny (K3).

Właściwość ↓	Symbol kompozytu →	
	EP	K3
Napężenie zrywające, [MPa]	368,7±20,5	333,3±23,7
Moduł Younga, [GPa]	45,14±6,03	38,10±2,00
Napężenie zginające, [MPa]	620,2±38,5	425,3±44,8
Moduł sprężystości, [GPa]	39,03±1,78	35,10±1,42
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	19,2±0,3	24,6±0,1
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-1
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	340,6±27,5	121,8±15,3
Rezystywność powierzchniowa (metoda VdP) [Ω /sq]	0,1298	0,0845
Rezystywność objętościowa (metoda VdP) [Ω cm]	0,0198	0,0146

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w siódmym przykładzie realizacji, jest na bazie małowiskotowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Kompozycję epoksydową modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,75% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μ m oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małowiskotowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napełniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu, wylewa do form silikonowych na kształtki do badań wytrzymałościowych. Kompozycję utwardza się przez 24 godziny w temperaturze pokojowej, a potem przez 5 godzin w temperaturze 100°C. Uzyskane w ten sposób kształtki miały właściwości wytrzymałościowe, odporność na płomień oraz rezystywność powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 7.

Tabela 7. Właściwości użytkowe kształtek otrzymanych z niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz epoksydowej z dodatkiem napelniaczy przewodzących prąd elektryczny (MK4).

Symbol kompozytu → Właściwość ↓	EP	MK4
Naprężenie zrywające, [MPa]	39,2±2,1	45,3±2,5
Moduł Younga, [GPa]	2,31±0,41	2,51±0,21
Naprężenie zginające, [MPa]	89,5±8,2	74,4±3,1
Moduł sprężystości, [GPa]	2,75±0,24	2,52±0,31
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	18,9±0,3	23,0±0,1
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-0
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	1024,0±45,1	351,1±21,8
Rezystywność powierzchniowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω/sq]	2,00E+16	2,00E+7
Rezystywność objętościowa (metoda 3-elektrodowa) [Ωcm]	1,50E+16	1,90E+8

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w ósmym przykładzie realizacji, jest na bazie małocząsteczkowej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Kompozycję epoksydową modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,75% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μm oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małocząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się uprzednio zhomogenizowane w sonifikatorze ultradźwiękowym w temperaturze 50°C w czasie 10 minut: mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz grafenu; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz nanocząstek miedzi; mieszaninę uniepalniacza fosforowego, glicydolu oraz sadzy przewodzącej. Całość każdorazowo, po wprowadzeniu mieszaniny danego napelniacza, homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydolu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu wykorzystuje się jako osnowę do formowania metodą infuzji laminatów wzmocnionych pięcioma warstwami tkaniny węglowej o splocie 2/2 i gramaturze 220 g/m² o wymiarach 40x40 cm. Otrzymane laminaty utwardzono w temperaturze pokojowej przez 24 godziny po czym odformowano i dotwardzono w temperaturze 100°C przez 5 godzin. Laminaty te charakteryzowały się właściwościami mechanicznymi, odpornością na płomień oraz rezystywnością powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 8.

Tabela 8. Właściwości użytkowe laminatów wzmocnionych tkaniną węglową z osnową niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz uniepalnionej kompozycji epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny (K4).

Właściwość ↓	Symbol kompozytu →	EP	K4
Naprężenie zrywające, [MPa]		368,7±20,5	358,3±10,7
Moduł Younga, [GPa]		45,14±6,03	37,85±2,24
Naprężenie zginające, [MPa]		620,2±38,5	320,3±13,3
Moduł sprężystości, [GPa]		39,03±1,78	39,75±1,64
Indeks tlenowy, (LOI) [%]		19,2±0,3	23,5±0,1
Klasa palności wg UL-94		materiał palny	V-1
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]		340,6±27,5	196,8±12,8
Rezystywność powierzchniowa (metoda VdP) [Ω /sq]		0,1298	0,0806
Rezystywność objętościowa (metoda VdP) [Ω cm]		0,0198	0,0134

Sposób otrzymywania samogasnącej, przewodzącej kompozycji żywicy epoksydowej w dziewiątym przykładzie realizacji, jest na bazie małowiskozostej, dianowej żywicy epoksydowej o lepkości 500–800 mPas. Do żywicy wprowadza się jako uniepalniacz 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu, a ponadto 2,5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydotu, 0,2% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów oraz 1% mas. dodatku zmniejszającego lepkość. Kompozycję epoksydową modyfikuje w warunkach laboratoryjnych poprzez wprowadzenie 0,5% mas. sadzy przewodzącej, 0,2% mas. grafenu o średnicy 5 μ m oraz 1% mas. nanocząstek miedzi.

W pierwszej kolejności do dianowej, małowiskozostej żywicy epoksydowej wprowadza się środek zmniejszający lepkość oraz bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów oraz glicydotu a następnie miesza się mechanicznie przy użyciu miksera przy prędkości obrotowej 500 obr./min. w temperaturze pokojowej, przez 10 minut. Następnie wprowadza się ciekłe uniepalniacze fosforowe i miesza się przy użyciu miksera z prędkością 500 obr./min. w temperaturze pokojowej przez 10 minut. Po zakończeniu mieszania wprowadza się grafen i homogenizuje się w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50°C, z zastosowaniem mieszadła turbinowego, przez 30 minut z prędkością obrotową 8000 obr./min., a następnie homogenizuje się za pomocą sonifikatora ultradźwiękowego w czasie 10 minut w temperaturze 50°C. Następnie dodaje się nanocząsteczki miedzi oraz sadzę przewodzącą i każdorazowo homogenizuje się mechanicznie a następnie ultradźwiękowo, tak jak po dodaniu grafenu. Następnie kompozycję odpowietrza się w komorze próżniowej oraz schładza do temperatury pokojowej.

Do otrzymanej w ten sposób kompozycji dodaje 14,5% mas., liczone na masę żywicy epoksydowej oraz glicydotu, trietylenotetraminy jako utwardzacza i po dokładnym wymieszaniu, wylewa do form silikonowych na kształtki do badań wytrzymałościowych. Kompozycję utwardza się przez 24 godziny w temperaturze pokojowej, a potem przez 5 godzin w temperaturze 100°C. Uzyskane w ten sposób kształtki miały właściwości wytrzymałościowe, odporność na płomień oraz rezystywność powierzchniową i objętościową przedstawioną w tabeli 9.

Tabela 9. Właściwości użytkowe kształtek otrzymanych z niemodyfikowanej żywicy epoksydowej (EP) oraz epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny (MK5).

Symbol kompozytu →	EP	MK5
Właściwość ↓		
Naprężenie zrywające, [MPa]	39,2±2,1	34,8±2,3
Moduł Younga, [GPa]	2,31±0,41	2,37±0,18
Naprężenie zginające, [MPa]	89,5±8,2	82,3±3,5
Moduł sprężystości, [GPa]	2,75±0,24	2,54±0,26
Indeks tlenowy, (LOI) [%]	18,9±0,3	23,6±0,1
Klasa palności wg UL-94	materiał palny	V-0
Szybkość wydzielania ciepła [kW/m ²]	1024,0±45,1	324,51±19,7
Rezystywność powierzchniowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω /sq]	2,00E+16	4,10E+8
Rezystywność objętościowa (metoda 3-elektrodowa) [Ω cm]	1,50E+16	6,20E+9

Zastrzeżenia patentowe

1. Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej, zawierająca uniepalniacze fosforowe oraz napełniacze przewodzące prąd elektryczny, **znamienna tym**, że zawiera od 20 do 25% ciekłych uniepalniaczy fosforowych w postaci ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz ciekłego fosforanu trietylu, od 2 do 5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, napełniacze w postaci od 0,1 do 0,2% mas. grafenu o średnicy od 5 do 25 μ m, od 1 do 3% mas. nanocząsteczek miedzi oraz od 0,4 do 0,75% mas. sadzy przewodzącej oraz od 0,5 do 1,5% mas. środka zmniejszającego lepkość oraz od 0,1 do 0,5% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego na bazie polimerów.
2. Samogasnąca kompozycja według zastrz. 1, **znamienna tym**, że zawartość ciekłych uniepalniaczy fosforowych wynosi 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu.
3. Sposób otrzymywania samogasnącej kompozycji żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym, na bazie dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej z dodatkiem napełniaczy przewodzących prąd elektryczny, określonej w zastrz. od 1 do 2, **znamienny tym**, że do dianowej, małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej wprowadza się od 0,5 do 1,5% mas. środka zmniejszającego lepkość, od 0,1 do 0,5% mas. bezsilikonowego środka odpowietrzającego oraz od 2 do 5% mas. rozcieńczalnika aktywnego w postaci glicydolu, od 20 do 25% mas. ciekłych uniepalniaczy fosforowych w postaci ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu i ciekłego fosforanu trietylu oraz napełniacze w postaci; od 0,1 do 0,2% mas. grafenu o średnicy od 5 do 25 μ m, od 1 do 3% mas. nanocząsteczek miedzi oraz od 0,4 do 0,75% mas. sadzy przewodzącej, a następnie całość homogenizuje się.
4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że w pierwszej kolejności do żywicy epoksydowej dodaje się bezsilikonowy środek odpowietrzający, środek zmniejszający lepkość oraz rozcieńczalnik aktywny, po czym całość miesza się mechanicznie z prędkością 500–800 obr./min. w temperaturze pokojowej, a po zakończeniu mieszania dodaje się ciekłe uniepalniacze fosforowe, po czym całość miesza się mechanicznie z prędkością 500–800 obr./min. w temperaturze pokojowej.
5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że w pierwszej kolejności do żywicy epoksydowej dodaje się środek zmniejszający lepkość, bezsilikonowy środek odpowietrzający na bazie polimerów, a następnie miesza się z prędkością obrotową od 500 do 800 obr./min. w temperaturze pokojowej.

6. Sposób według zastrz. 5, **znamienny tym**, że każdy z napelniczy dodaje się w postaci oddzielnej mieszaniny z rozcieńczalnikiem aktywnym i uniepalniaczem fosforowym.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że każda z mieszanin napelnicza z rozcieńczalnikiem aktywnym oraz uniepalniaczem fosforowym jest przed jej dodaniem do żywicy epoksydowej, homogenizowana ultradźwiękowo w temperaturze 50–60°C.
8. Sposób według zastrz. 7, **znamienny tym**, że każdorazowo homogenizację ultradźwiękową każdej z mieszanin napelnicza z rozcieńczalnikiem aktywnym oraz uniepalniaczem fosforowym prowadzi się przez 10 minut.
9. Sposób według jednego z zastrz. od 3 do 8, **znamienny tym**, że po dodaniu napelniczy całość homogenizuje się mechanicznie w szybkoobrotowym mikserze w temperaturze 50–60°C z prędkością obrotową 6000–10000 obr./min.
10. Sposób według zastrz. 9, **znamienny tym**, że homogenizację mechaniczną prowadzi się każdorazowo przez 10 minut.
11. Sposób według jednego z zastrz. od 3 do 10, **znamienny tym**, że po dodaniu napelniczy całość homogenizuje się ultradźwiękowo w temperaturze 50–60°C.
12. Sposób według zastrz. 11, **znamienny tym**, że homogenizację ultradźwiękową po dodaniu napelniczy prowadzi się przez 30 minut.
13. Sposób według jednego z zastrz. od 3 do 12, **znamienny tym**, że jako uniepalniacze fosforowe stosuje się 20% mas. ciekłego organicznego cyklicznego fosfonianu oraz 5% mas. ciekłego fosforanu trietylu.
14. Sposób według jednego z zastrz. od 3 do 13, **znamienny tym**, że stosuje się żywicę epoksydową o lepkości od 500 do 800 mPas.