

Sylwester NORWIŃSKI\*, Przemysław POSTAWA  
Zakład Przetwórstwa Polimerów, Politechnika Częstochowska  
ul. Armii Krajowej 19c, 42-201 Częstochowa  
\*e-mail: snorwinski@ipp.pcz.pl

## Ocena palności metodą indeksu tlenowego (OI) wybranych kompozytów na osnowie polipropylenu

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań palności kompozytów polimerowych, na osnowie polipropylenu. Jako napełniacz wykorzystano talk, włókna szklane, kulki szklane oraz dodatek uniepalniacza. Próbki przygotowano metodą wtryskiwania. Analizę palności wybranych kompozytów przeprowadzono za pomocą oznaczenia wartości indeksu tlenowego (OI) zgodnie z PN-EN ISO 4589-2:2006. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu ilości i kształtu poszczególnych napełniaczy na palność oraz charakterystykę spalania kompozytów polipropylenowych. Uzyskane wyniki pozwolą określić w jakich warunkach i w jakim zakresie można stosować tego typu materiały oraz w jakim stopniu są niebezpieczne pożarowo.

**Słowa kluczowe:** palność, indeks tlenowy, kompozyty polipropylenu

### EVALUATION OF FLAMMABILITY BY OXYGEN INDEX (OI) OF SELECTED COMPOSITES OF POLYPROPYLENE

**Abstract:** Results of the flammability of polymer composites based of polypropylenewere presented in the article. Talc, glass fibers, glass beads and flame retardant additive were used as a filler. The samples were prepared by injection molding. The analysis flammability selected composites was performed by determination of oxygen index (OI) in accordance with BS EN ISO 4589-2: 2006. The study allowed us to determine the influence of the number and shape of various fillers on flammability and combustion characteristics of polypropylene composites.

**Keywords:** flammability, oxygen index, composites of polypropylene

### WSTĘP

Na przełomie ostatniego stulecia można zaobserwować bardzo duży rozwój produkcji tworzyw polimerowych, które ze względu na stosunkowo niski koszt wytwarzania oraz dobre właściwości użytkowe zdominowały wiele gałęzi przemysłu. Zaletą tworzyw polimerowych jest ich mała gęstość, odporność na korozję oraz łatwość przetwórstwa [1, 2].

Większość polimerów syntetycznych posiada lepsze właściwości wytrzymałościowe, chemiczne, wizualne w stosunku do polimerów naturalnych i znajduje zastosowanie w elektronice, optyce, urządzeniach medycznych oraz lotnictwie [1, 3]. Polimery syntetyczne można odnaleźć również w urządzeniach i przedmiotach codziennego użytku.

W chwili obecnej produkcja dwóch głównych polimerów z grupy poliolefin: polipropylenu (PP) oraz polietylenu (PE) w globalnej produkcji tworzyw termoplastycznych stanowi już ok. 80% wszystkich produkowanych polimerów syntetycznych. Z powyższych danych wynika, że poliolefiny stanowią obecnie bardzo ważną z punktu widzenia przemysłu grupę polimerów. Niestety tworzywa polimerowe, jako materiały organiczne posiadają niekorzystne właściwości palne. Stanowi to duży problem dla projektantów i konstruktorów oraz mocno ogranicza wiele możliwości ich stosowania. Często w konstrukcjach od których wymaga się wysokiej odporności pożarowej [4], gdzie elementy wykończenia wewnątrz muszą być nierozprzestrzeniające ogień (NRO) np. muszą posiadać zgodnie z [5] klasę A1-d0, stosuje

się obok materiałów tradycyjnych kompozyty polimerowe modyfikowane antypirenami [6].

Do oceny zachowania się polimerów w podwyższonej temperaturze stosuje się kilka parametrów. Jednym z nich jest indeks tlenowy, czyli wartość określająca minimalną zawartość tlenu w mieszance  $N_2/O_2$  podtrzymującą proces palenia się materiału polimerowego [7]. Metodę pomiaru indeksu tlenowego stosuje się do wszystkich tworzyw polimerowych w celu porównawczej oceny ich zapalności. Stosuje się ją przy ocenie modyfikacji tego samego rodzaju tworzywa oraz ocenie wpływu dodatku napełniaczy i plastyfikatorów na spalanie tworzywa i skuteczności działania antypirenow [8].

Opierając się na wartości indeksu tlenowego, wprowadzono przez amerykański przemysł podział tworzyw polimerowych (wykorzystywany również w naszym kraju) na następujące klasy palności [9]:

- tworzywa palne, gdy wskaźnik tlenowy  $OI < 21\%$ ,
- tworzywa samogasnące, gdy wskaźnik tlenowy  $21\% < OI < 28\%$ ,
- tworzywa niepalne, gdy wskaźnik tlenowy  $28\% < OI < 100\%$ .

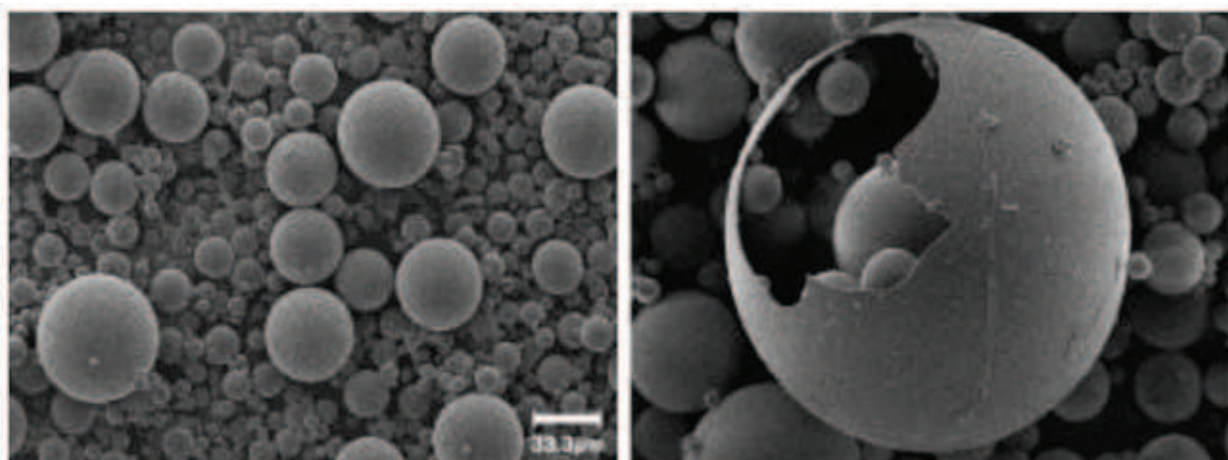
Zgodnie z innymi źródłami literaturowymi [9, 10] istnieje również podział tworzyw ze względu na wartość indeksu tlenowego, który dzieli je na dwie grupy:

- palne, gdy wskaźnik tlenowy  $OI < 26\%$ ,
- trudno zapalne, gdy wskaźnik tlenowy  $OI \geq 26$ .

## MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Zakres badań obejmował analizę wartości indeksu tlenowego dla 10 kompozytów polimerowych na bazie polipropylenu (PP) z różnymi napełniaczami i ich zmienną zawartością. Jako napełniacz w poszczególnych seriach zastosowano: biały talk, kulki szklane, włókno szklane oraz uniepalniacz. Jako materiał bazowy do wykonania kompozytów użyto polipropylen (PP) o nazwie handlowej „Moplen HP500N” firmy „Basell Orlen Polyolefins”, tworzywo z grupy termoplastów o przeznaczeniu technicznym. Badania przeprowadzono na kompozytach, których bazę stanowi wspomniany polipropylen. Tego typu materiały mają zastosowanie w branżach artykułów gospodarstwa domowego motoryzacji i elektrotechnice [3]. Wytworzone próbki podzielono na 4 serie w zależności od zastosowanego napełniacza.

Pierwsze z nich to kompozyty, w których zastosowano napełniacz Luzenac OXO. Jest to biały talk o płytkowej budowie i gęstości  $2.78 \text{ g/cm}^3$ , używany głównie do uzyskania estetycznej powierzchni.



Rys. 1. Zdjęcie mikroskopowe kulek szklanych. [11]

Fig. 1. SEM photo of microscopic glass beads [11]

Kolejnym napełniaczem zastosowanym w badaniach były kulki szklane (pełne GB i puste GBL), które charakteryzują się następującymi właściwościami poprawiającymi proces przetwórstwa i przepływu w masie wtryskiwanego tworzywa: gładka powierzchnia, najmniejszy możliwy stosunek powierzchni do objętości, duża nośność, doskonała forma przepływu, jednolita dyspersja (Rys. 1).

Materiały napełnione kulkami szklanymi poprawiają właściwości mechaniczne (twardość powierzchni, wytrzymałość, trwałość, wysoki moduł sprężystości), doskonałą odporność chemiczną, skurcz i niskie wypaczanie, poprawiają płynięcie [12]. Jako napełniacza użyto kulek szklanych typu A-Glass 3000 o średniej wielkości cząstek pomiędzy 30, a 50  $\mu\text{m}$  o gęstości 2,5  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Badaniom zostały poddane również kompozyty polipropylenowe z napełniaczem w postaci włókna szklanego. Materiały te oprócz zastosowania w branżach artykułów gospodarstwa domowego motoryzacji i elektrotechnice, stanowią także alternatywę dla PA 6. Materiały zostały napełnione włóknem szklanym ECS13-4.5-508A, rodzaj szkła E, ciętym CS, średnica włókna 13  $\mu\text{m}$ , długość cięcia 4.5 mm.

Ostatnią grupą kompozytów polimerowych poddanych badaniom były kompozyty na osnowie polipropylenu z antypirenem i talkiem. Do modyfikacji ww. materiałów użyto talku dolomitowego oraz uniepalniacza ADK STAB FP-2100JC, bezhalogenowego azotowo-fosforowego wykazującego dobrą ognioodporność z zachowaniem właściwości mechanicznych. ADK STAB FP-2100JC wykazuje wysoką stabilność przetwórstwa podczas łączenia z tworzywami termoplastycznymi. W szczególności zalecany jest do stosowania z polipropylenem (homo- i kopolimer) i polietylenem o wysokiej i niskiej gęstości oraz w kopolimerach etylenu i octanu winylu.

W wyniku modyfikacji z wykorzystaniem wytłaczarki dwuślimakowej współbieżnej otrzymano następujące kompozyty polimerowe na bazie polipropylenu oraz opisanych powyżej napełniaczy:

1. Bazowy polipropylen Moplen PP,
2. Kompozyt polipropylenowy z 15% obj. zawartością talku: PP T 15,
3. Kompozyt polipropylenowy z 20% obj. zawartością talku: PP T 20,
4. Kompozyt polipropylenowy z 20% obj. zawartością talku dolomitowego oraz 6 % zawartością ADK STAB FP-2100JC: PP T 20 V0,
5. Kompozyt polipropylenowy z 30% obj. zawartością talku: PP T30,
6. Kompozyt polipropylenowy z 30% obj. zawartością włókna szklanego: PP GF30,
7. Kompozyt polipropylenowy z 40% obj. zawartością włókna szklanego: PP GF40,
8. Kompozyt polipropylenowy z 30% obj. zawartością kulek szklanych pustych: PP GB30 L,
9. Kompozyt polipropylenowy z 30% obj. zawartością kulek szklanych pełnych: PP GB30,
10. Kompozyt polipropylenowy z 30 % obj. zawartością ADK STAB FP-2100JC: PP WHHF V0

Granulat przed procesem wtryskiwania suszono w temperaturze 65  $^{\circ}\text{C}$  w czasie 2 godzin w suszarce laboratoryjnej Shini CD9 Cabinet. Próbkę badawczą wykonano z wykorzystaniem wtryskarki KraussMaffei KM 65 160C4. Zastosowano następujące parametry przetwórstwa:

- temperatura wtryskiwania 225  $^{\circ}\text{C}$ ,
- ciśnienie wtrysku 80 MPa,
- temperatura formy 40  $^{\circ}\text{C}$ ,
- ciśnienie docisku 40 MPa,
- prędkość wtryskiwania 0,060 mm/s,
- czas fazy wtrysku 0,73 s,
- czas docisku 15 s,
- czas chłodzenia 15 s.

Próbki następnie kondycjonowano w czasie 48 godzin.

Analizę palności wybranych kompozytów przeprowadzono za pomocą oznaczenia wartości indeksu tlenowego (OI) zgodnie z PN-EN ISO 4589-2:2006 [13]. Badania eksperymentalne wykonano w laboratorium Zakładu Spalania i Teorii Pożarów w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie przy pomocy aparatury badawczej służącej do wyznaczania wartości indeksu tlenowego (Rys. 2).



Rys. 2. Widok stanowiska do badań.

Fig. 2. View the oxygen index research stand

Próbki, które zostały wykorzystane w badaniach na potrzeby niniejszego opracowania zostały przygotowane zgodnie z wymaganiami PN- EN ISO 4589-2: 2006 [13]. Przygotowanie próbek polegało na dopasowaniu długości próbek, tak aby była ona zgodna z zakresem długości kształtki nr I podanym w tab. 6.1. PN- EN ISO 4589-2: 2006. Do przygotowania próbek zostały wykorzystane wcześniej już

wspomniane kompozyty polimerowe z różnego rodzaju napełniaczami. Wymiary próbek: 80mm x 10mm x 4 mm (rys. 3.). Po przygotowaniu kształtek zgodnie z powyższą tabelą, należało sprawdzić, czy powierzchnie próbek są czyste i nie mają żadnych skaz takich jak np. rysy czy zadziory z obróbki mechanicznej, ponieważ mogłyby one wpłynąć na przebieg procesu spalania.



Rys. 3. Widok uchwytu próbki oraz urządzenie podczas testów

Fig. 3. View of sample holder and test equipment with tested sample

## OMÓWIENIE WYNIKÓW – ANALIZA I WNIOSKI

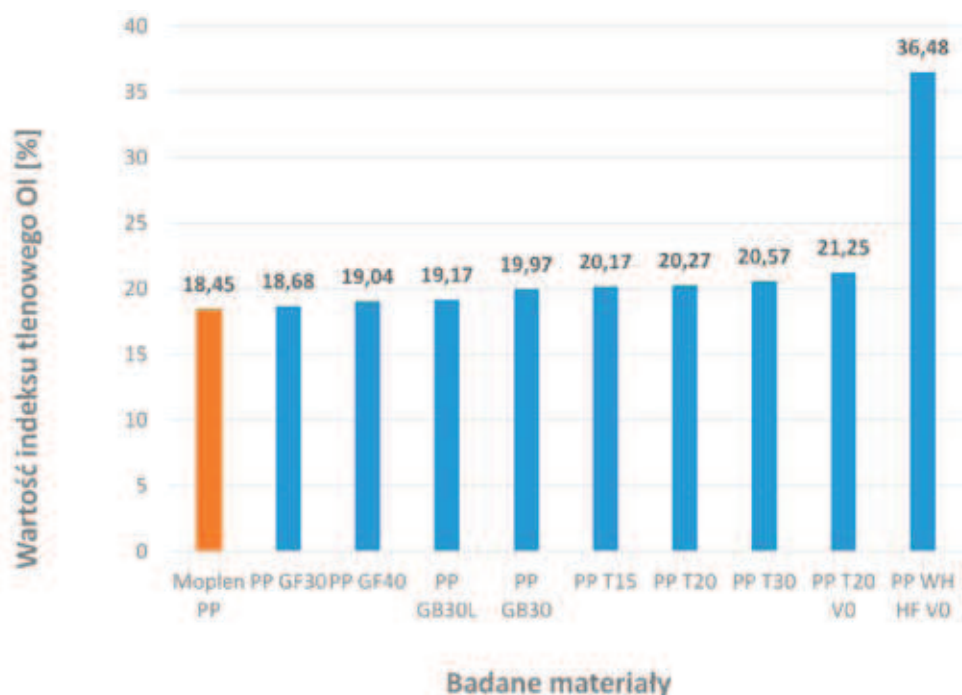
Otrzymane wyniki badań przedstawiono na wykresach. Rysunek nr 4 przedstawia zbiorcze wyniki dla wszystkich badanych materiałów.

Z przedstawionych powyżej wyników, dokumentacji zdjęciowej oraz notatek sporządzonych podczas przeprowadzanych badań wyciągnięto następujące wnioski:

Zastosowane w badaniach napełniacze wpłynęły znacząco na właściwości palne badanych kompozytów polimerowego. We wszystkich przypadkach wartość OI wzrosła zmniejszając tym samym palność tworzywa. We wszystkich przypadkach wartość indeksu tlenowego była

zależna od ilości wprowadzonego napełniacza. Im większa była zawartość napełniacza w kompozycie tym większa była wartość indeksu tlenowego (OI).

Wartości indeksu tlenowego (OI) dla PP z napełniaczem o większej gęstości (z talkiem), były o ok. 1–2 % większe w porównaniu z wartością OI dla PP z napełniaczami o mniejszej gęstości tj. kulkami szklanymi i włóknem szklanym. Wartość OI dla próbki z 30% zawartością włókna szklanego PP GF30 ( $\rho=2,5\text{g/cm}^3$ ) wyniosła 18,68%, a dla próbki z 30% zawartością talku PP T30 ( $\rho=2,78\text{g/cm}^3$ ) wyniosła 20,57%. Polimery posiadające mniejszą gęstość wykazują mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła, stąd też ich zapalność od małego płomienia jest większa [14].



Rys. 4. Zbiorcze zestawienie wartości indeksu tlenowego dla wszystkich badanych materiałów

Fig. 4. A summary statement of oxygen index values for all tested materials

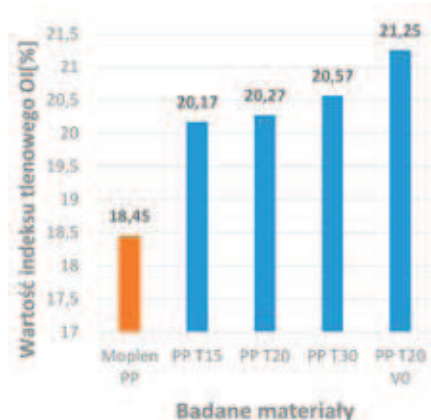
Próbka, która była w 100% złożona z czystego tworzywa PP, wykazywała podczas spalania właściwości tworzyw termoplastycznych, a więc właściwości zgodne z budową chemiczną polipropylenu. Ze względu na brak grup funkcyjnych zdolnych do sieciowania nie utwardzała się podczas ogrzewania i za-

chowywała budowę liniową lub rozgałęzioną. Powstałe z rozkładu termicznego gazy palne spalały się płomieniowo regularnym, jasnym, dyfuzyjnym płomieniem. Podczas spalania dochodziło do topienia się i kapania materiału. W górnej części próbki, którą obejmował płomień robiła się ona przezroczysta.

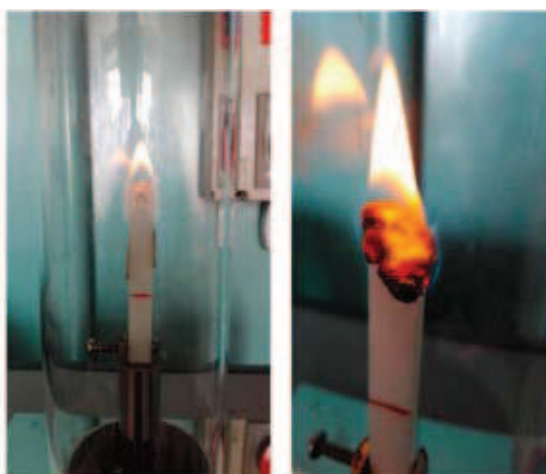
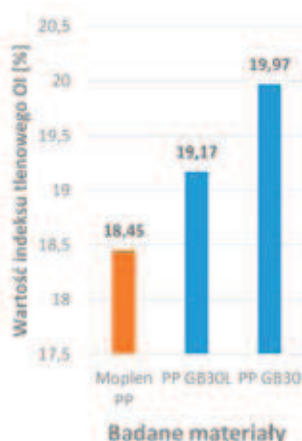
Na rysunkach 5–8 przedstawiono wykresy zmian wartości indeksu tlenowego w zależności od zastosowanego napełniacza i jego ilości, a także fotografie wykonane podczas przeprowadzonych badań w celu pokazania charakteru spalania poszczególnych próbek oraz ich wyglądu i struktury po spalaniu.

Wprowadzone dodatki miały wpływ na charakterystykę spalania się materiału. Wszystkie kompozyty z talkiem spalały się podobnie. Po zainicjowaniu spalania spalały się w sposób

mieszany, a po upływie 1–2 min. zachodziło wyłącznie spalanie homogeniczne. Im więcej było w tworzywie napełniacza tym bardziej widoczne i wydłużone w czasie było spalanie heterogeniczne w fazie początkowej i przebiegało w sposób bardziej agresywny. Również wraz ze wzrostem zawartości talku w próbce można było zaobserwować coraz intensywniejsze: pienie i kapanie materiału. W niższych stężeniach tlenu płomień był nieregularny, skaczący i żółty, w wyższych natomiast płomień był jasny i laminarny (rys. 5).



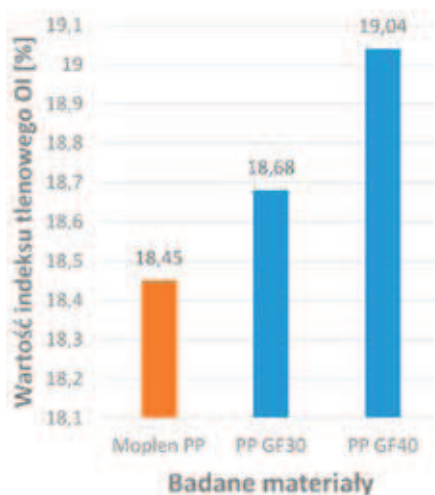
Rys. 5. Wartości indeksu tlenowego dla polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci talku 15% (PP T15), 20% (PP T20), 30% (PP T30) oraz talku 20% z uniepalniaczem (PP T20 V0) oraz próbka podczas spalania kominie do badań  
Fig. 5. The values of index oxygen of polypropylene (PP), filled of talc 15% (PP T15), 20% (PP T20), 30% (PP T30) and talc 20% with flame retardant (PP T20 V0) and the sample during combustion in the test chimney



Rys. 6. Wartości indeksu tlenowego polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci kulek szklanych pustych 30% (PP GB30 L) oraz kulek szklanych pełnych 30% (PP GB 30) oraz próbki podczas spalania w kominie do badań  
Fig. 6. The values of oxygen index of polypropylene (PP), filled of glass beads and the sample during combustion in the test chimney

Kompozyty polipropylenu z napełniaczem w postaci kulek szklanych pełnych (PP GB30) spalały się w sposób identyczny jak homopolimer PP (Rys. 14.). Natomiast odmiennie spalał się materiał z kulkami szklanymi pustymi, na początku występowało pienienie się i topie-

nie, ale po kilku sekundach zachodziło również spalanie bezpłomieniowe. Spalanie bezpłomieniowe zachodziło na brzegach badanej próbki, gdzie występowało żarzenie, natomiast w środku cały czas zachodziło spalanie typowe dla termoplastów (Rys. 6.).



Rys. 7. Wartości indeksu tlenowego dla polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci włókna szklanego 30% (PP GF30), 40% (PP GF40) oraz próbka podczas spalania w kominie do badań

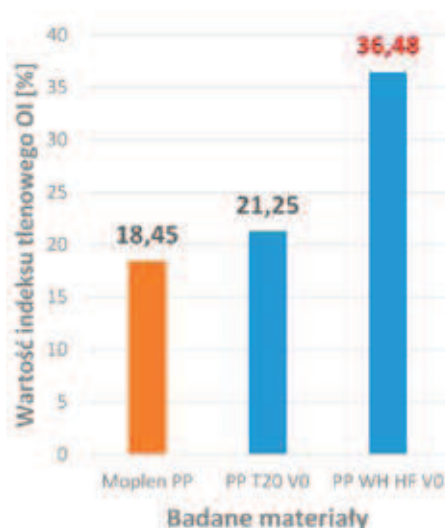
Fig. 7. The values of oxygen index of polypropylene (PP), filled with 30% and 40% of glass fiber (PP GF30, PP GF40) and the sample during combustion in the test chimney

Charakterystyka spalania tworzyw domieszkowanych włóknem szklanym była zupełnie odmienna od wszystkich pozostałych. Podczas spalania dochodziło do żarzenia. Pomimo tego, że zawierały 60%-70% osnowy polimerowej nie topiły się i nie kapały, spalając się w sposób mieszany homogeniczno-heterogeniczny. Warto również wspomnieć, że w przypadku tej grupy materiałowej ubytek masy (objętości) podczas spalania był bardzo mały, a kryterium zaliczenia próbce wyniku pozytywnego w badaniu był „czas”, a nie tak jak w przypadku pozostałych kryterium „długości” spalanej próbki. Można więc powiedzieć, że w dużym stopniu zachodziło spalanie niecałkowite materiału. Nie wykazywały różnicy w charakterze spalania w zależności od zawartości napełniacza w kompozycie (Rys. 7.).

Zgodnie ze źródłami literaturowymi badane tworzywa można sklasyfikować na podstawie dwóch klasyfikacji tworzyw ze względu na palność. Pierwsza z nich dzieli tworzywa na dwie grupy mianowicie: palne i trudno zapalne. Zgodnie z tym podziałem tworzywo zawierające 20% talku i 6% uniepalniacza należy zaklasyfikować, jako materiał palny, ponieważ podczas przeprowadzonego badania wartość indeksu tlenowego tego tworzywa wyniosła  $OI < 26\%$ . Natomiast wartość indeksu tlenowego dla kompozytu z 30% zawartością uniepalniacza podczas badania wyniosła 36,5% i zgodnie z tą skalą jest to materiał trudnopalny. Zgodnie z drugim podziałem, który dzieli tworzywa na trzy grupy mianowicie: palne, samogasnące i niepalne, materiał PP T20V0 należy sklasyfikować jako samogasnący, natomiast PP WH HF V0 jako niepalny.

Tworzywo PP T20V0 spalało się w sposób charakterystyczny dla termoplastów tj. topiło się, pieniało i wytwarzało pływające krople.

Z kolei tworzywo PP WH HF V0 pęczniało powierzchniowo i wytwarzało warstwę izolującą termicznie (Rys. 8).



Rys. 8. Wartości indeksu tlenowego dla polipropylenu (PP), z uniepalniaczem ADK STAB FP-2100JC 30% (PPH10 WH HF V0) oraz talkiem dolomitowym 20% i ADK STAB FP-2100JC 6% (T20 V0) oraz próbka podczas spalania w kominie do badań

Fig. 8. The values of oxygen index of polypropylene (PP), filled with flame retardant ADK STAB FP-2100JC 30% (PPH10 WH HF V0) and talc 20%/ ADK STAB FP-2100JC 6% and the sample during combustion in the test chimney

## PODSUMOWANIE

Metoda wskaźnika tlenowego określająca zapalność materiałów polimerowych i ich kompozytów nie stanowi wyznacznika przy określaniu zagrożenia pożarowego stwarzanego przez te materiały. Jednakże poznanie wartości tego parametru może służyć jako pomoc w rozpoznawaniu zagrożeń pożarowych stwarzanych przez dane tworzywo, co ułatwi podjęcie działań prewencyjnych mających na celu ich zmniejszenie, a w efekcie końcowym zwiększenie bezpieczeństwa dla życia i zdrowia ludzi oraz mienia.

Dodatkowo zestawienie wartości indeksu tlenowego z innymi parametrami palnymi, takimi jak np. szybkość wydzielania dymu, szybkość wydzielania ciepła czy ciepło spalania pozwala już uzupełnić oszacowanie dynamiki rozwoju pożaru podczas spalania danego materiału.

Badane próbki kompozytów polipropylenowych modyfikowanych talkiem, włóknem szklanym i kulkami szklanymi wykazały wyż-

sze wartości indeksu tlenowego w porównaniu z próbkami pierwotnego materiału osnowy, stąd też można stwierdzić, że badane próbki PP modyfikowane ww. napełniaczami wykazywały mniejszą zapalność od małego płomienia w porównaniu z tworzywem niemodyfikowanym. Należy jednak zauważyć, że wartości OI dla tych tworzyw mimo wszystko znalazły się w obszarze wartości klasyfikowanych jako materiały palne. Wynika z tego również, że nie należy stosować PP z tymi wypełniaczami w miejscach, gdzie szczególnie zależy nam na bezpieczeństwie pożarowym lub w miejscach gdzie nie przewidziano stosowania dodatkowych zabezpieczeń przeciwpożarowych, a jedynie tam, gdzie należy zmienić parametry wytrzymałościowe, ponieważ jak wykazują przeprowadzone już badania dodatki te poprawiają właściwości mechaniczne tworzyw, głównie poliolefin [15,16,17,18].

Badane próbki kompozytów polimerowych modyfikowanych ADK STAB FP-2100JC wykazywały większą wartość wskaźnika tlenowe-



go w porównaniu z próbkami, które w 100% były złożone z tworzywa polimerowego. Wraz ze wzrostem ilości napełniacza w tworzywie zwiększała się wartość OI. Świadczy to o tym, że badany PP modyfikowany ww. napełniaczem będzie wykazywał mniejszą zapalność w porównaniu z PP niemodyfikowanym ognioochronnie. W dodatku można wywnioskować, że zwiększanie ilości tego napełniacza w badanym PP przyczyni się do zmniejszenia jego palności, co w efekcie zwiększy bezpieczeństwo pożarowe. Jednak ze wszystkich przebadanych kompozytów za tworzywo zupełnie bezpieczne pod względem pożarowym należy uznać jedynie tworzywo PP WH HF, którego indeks tlenowy podczas badania wyniósł 36,48%.

Badane kompozyty niemodyfikowane oraz modyfikowane kulkami szklanymi pełnymi ulegały spalaniu homogenicznemu. Próbkę z napełniaczem w postaci włókna szklanego wykazywały heterogeniczny charakter spalania. Pozostałe materiały spalały się w sposób mieszany homogeniczno-heterogeniczny, często tworząc warstwę zwęgloną na powierzchni próbek. W zależności od napełniacza i jego ilości w próbce charakter spalania przeważał w jedną lub drugą stronę.

*Podziękowania dla firmy Polimarky sp. z o.o. sp. k. z Rzeszowa za udostępnienie materiałów do przygotowania kompozytów.*

## LITERATURA

1. Panneerselvam K., Aravindan S., Noorul Haq A., "Study on resistance welding of glass fiber reinforced thermoplastic composites"
2. Pielichowski J., Muszyński A., „Technologia tworzyw sztucznych”, WNT, Warszawa 2003.
3. Rabek Jan F., „Współczesna wiedza o polimerach”, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2016
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2009r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. z dnia 15 czerwca 2002 r. z późn. zm.).
5. PN-EN 13501-1:2008 – Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynku.
6. Królikowski W., „Polimerowe kompozyty konstrukcyjne”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012
7. Cogen J.M., Lin T.S., Lyon R.E., *Correlations between pyrolysis combustion flow calorimetry and conventional flammability test with halogen-free flame retardant polyolefin compounds*, Fire Mater 2009
8. Jankowska G., Przygocki W., Włochowicz A., „Palność polimerów i materiałów polimerowych”, Warszawa 2007.
9. Półka M., „Badanie palności metodą wskaźnika tlenowego”, SGSP, Warszawa 1996.
10. Gilman J.W., *Flammability and thermal stability studies of polymer layered-silicate (clay) nanocomposites*, Appl Clay Sci 1999
11. Kaczmar J. W., Bielański A., *Kompozyty na osnowie polipropylenu wzmacniane mikrokulkami szklanymi*, Teka Kom. Bud. Ekspl. Masz. Elektrotech. Bud. – OL PAN, 2008, 63–68
12. Potters Industries LLC Engineered Glass Materials Division, „High Performance Solid Glass Polymer Additives”
13. PN-EN ISO 4589-2:2006 – Tworzywa sztuczne -- Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego – Część 2: Badanie w temperaturze pokojowej
14. Jurkowski B., Jurkowska B., Rydarowski H., „Palność materiałów polimerowych”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010
15. Chollakup R, Tantatherdtam R, Ujtin S, Sriroth K., „Pineapple leaf fiber reinforced thermoplastic composites: effects of fiber length and fiber content on their characteristics”. J Appl Polym Sci 2011;119(4):1952–60.
16. Rezaei F, Yunus R, Ibrahim NA., „Effect of fiber length on thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites”. Mater Des 2009;30:260–3.
17. Subramanian C, Deshpande SB, Senthilvelan S., „Effect of reinforced fiber length on the damping performance of thermoplastic composites”. Adv Compos Mater 2011;20(4):319–35.
18. Subramanian C, Senthilvelan S., „Effect of reinforced fiber length on the joint performance of thermoplastic leaf spring”. Mater Des 2010;31:3733–41.

Publikację przyjęto do druku: 06.07.16