

## Wpływ zmiany temperatury na pomiar ciśnienia wybuchu

mgr inż. Krzysztof Lesiak  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

### Streszczenie:

W artykule przedstawiono wyniki badań, mających na celu porównanie przetworników ciśnienia, wykonanych w technologii piezoelektrycznej oraz cienkowarstwowej, pod kątem optymalizacji pomiarów ciśnienia wybuchu, w aspekcie zmian temperatury.

### Abstract:

The article focuses on the results of tests, aimed at comparison of pressure transducers manufactured in piezoelectric and thin film technology in order to optimise explosion pressure measurements in different temperatures.

Słowa kluczowe: Dyrektywa ATEX, ciśnienie wybuchu, przetworniki ciśnienia, temperatura

Keywords: ATEX Directive, explosion pressure, pressure transducers, temperature

## 1. Wprowadzenie

Procesy technologiczne realizowane w wielu zakładach produkcyjnych stwarzają zagrożenie spowodowane możliwością powstawania atmosfer zagrożonych wybuchem.

Jednym ze sposobów umożliwiających stosowanie urządzeń w strefach zagrożonych wybuchem jest wyposażenie ich w osłonę ognioszczelną „d”. Osłony ognioszczelne w fazie projektowania podlegają badaniom prowadzonym przez jednostki notyfikowane.

Badania osłon ognioszczelnych wymagają m.in. sprawdzenia ich wytrzymałości na ciśnienie, które poprzedza określenie ciśnienia wybuchu dla danej osłony [2]. W trakcie badań inicjowane są wybuchy z użyciem mieszanin gazowych, podczas których dokonywana jest rejestracja ciśnienia.

Ze względu na znaczną dynamikę zmian ww. ciśnienia, najczęstszym rodzajem przetworników stosowanym do jego pomiaru, są przetworniki piezoelektryczne. Charakteryzują się one: szybkim przetwarzaniem sygnału, dużą wytrzymałością, wysoką sztywnością oraz zdolnością pomiarów ciśnień quasi statycznych [6].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań, których celem było porównanie przetworników ciśnienia wykonanych w technologii piezoelektrycznej oraz cienkowarstwowej, w aspekcie zmian temperatury.

## 2. Obiekt badań

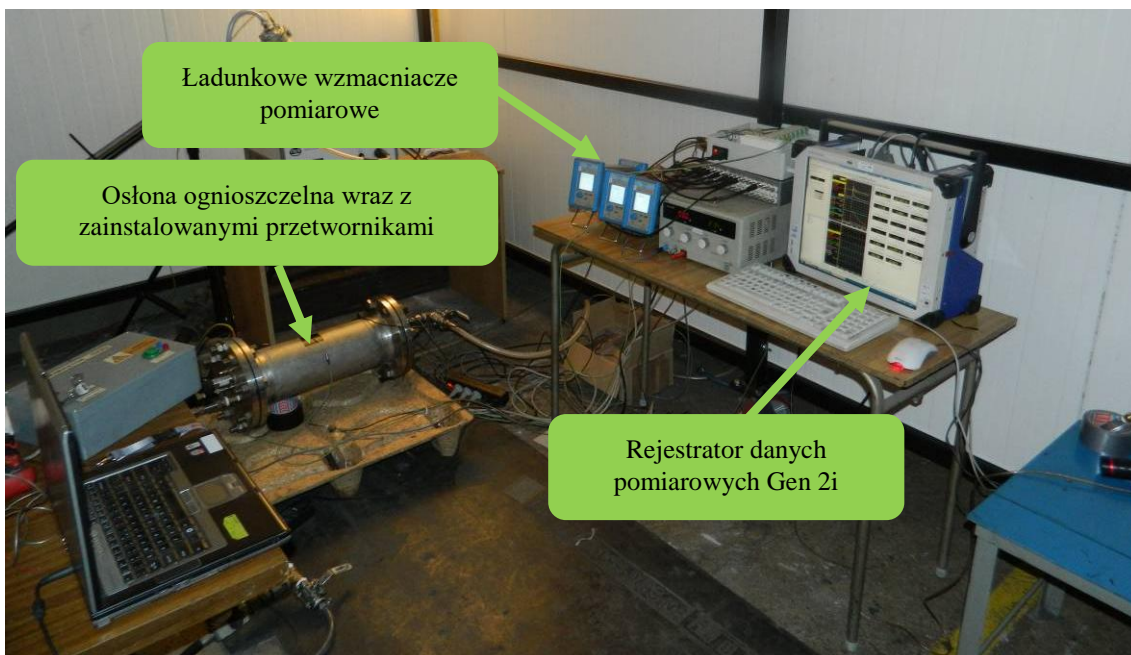
Porównaniu poddano trzy przetworniki piezoelektryczne (oznaczone jako A1, A2 – 2 szt. tego samego typu oraz B – 1 szt. innego typu), o zakresach pomiarowych 0...20 bar<sup>1</sup>, współpracujące ze wzmacniaczami ładunkowymi, oraz jeden przetwornik cienkowarstwowy z wyjściem prądowym o zakresie pomiarowym od -1...30 bar i deklarowanym czasie odpowiedzi < 2 ms, typu C. Do istotnych cech przetworników piezoelektrycznych należą: typu A: czułość na poziomie -46 pC/bar, membrana o niskiej wrażliwości na szok termiczny,

<sup>1</sup> 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa

małe wymiary (średnica ok. 10 mm, długość ok. 23 mm), temperatura pracy do 350°C, typu B: czułość na poziomie -80 pC/bar, element kwarcowy w wysoce czułym układzie z poprzecznym efektem piezoelektrycznym, bezgwintowa konstrukcja montażowa (montaż z wykorzystaniem dedykowanego adaptera), małe wymiary (średnica ok. 11 mm, długość ok. 22 mm), temperatura pracy do 350°C.

### 3. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym z zastosowaniem cylindrycznej osłony o średnicy wewnętrznej 162 mm i długości 500 mm [5]. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.

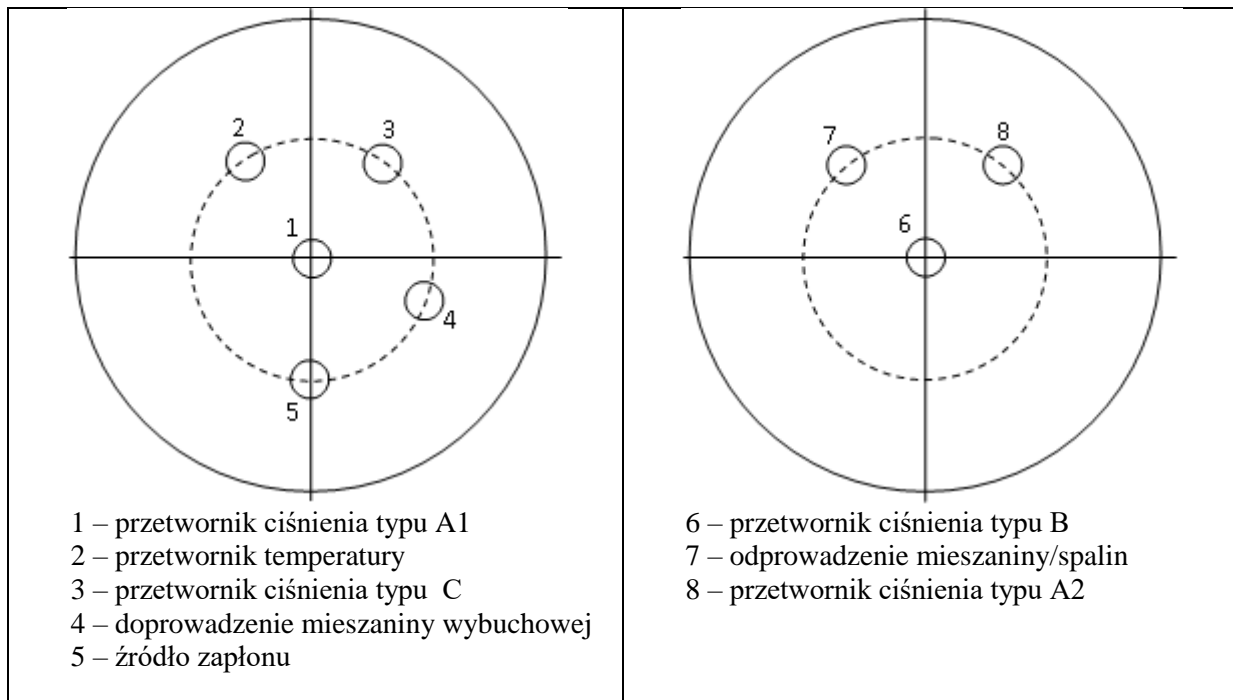


Rys. 1. Widok stanowiska badawczego [1]

Przetworniki ciśnienia i temperatury mieszaniny wewnątrz osłony, zamontowano na kołnierzach zaślepiających cylindryczną osłonę, w sposób przedstawiony na rysunku 2. Ze względu na fakt, iż źródło zapłonu (iskra) nie znajdowała się w centralnym punkcie obudowy, po przeciwległych stronach cylindrycznej osłony zainstalowano dwa przetworniki tego samego typu (A1 oraz A2), w celu potwierdzenia jednorodności występującego ciśnienia. Dodatkowo, wybrano punkty pomiarowe nie leżące w osi symetrii. Po przeprowadzeniu każdej próby komorę wychładzano do temperatury występującej przed jej rozpoczęciem.

Monitorowano temperaturę (za pomocą termopar typu K, o średnicy 0,25 mm): mieszaniny wybuchowej – wewnątrz komory po stronie doprowadzenia mieszaniny, temperaturę powierzchni korpusu w połowie jego długości oraz temperaturę otoczenia. Wszystkie dane pomiarowe rejestrowano z wykorzystaniem rejestratora danych HBM Gen 2i z częstotliwością próbkowania 100 kHz. Przebiegi z przetworników typu A oraz B filtrowano przez wzmacniacze ładunkowe, natomiast przebieg z przetwornika typu C, poprzez oprogramowanie rejestratora danych. Parametry filtrów były zgodne z wymaganiami normy

PN-EN 60079-1 [2]. Tory pomiarowe ciśnienia wywzorcowano zgodnie z regułami normy PN-EN ISO/IEC 17025 [3].



Rys. 2. Sposób rozmieszczenia przetworników na kołnierzach zaślepiających [1]

## 4. Badania

W trakcie badań, atmosferę wybuchową stanowiła mieszanina o składzie: 9,8% metanu z powietrzem.

### 4.1. Sprawdzenie jednorodności ciśnienia w osłonie

Ponieważ przy zjawiskach dynamicznych, wartości ciśnienia rejestrowane w różnych miejscach mogą się od siebie różnić, przeprowadzono badania mające na celu sprawdzenie jednorodności w osłonie. Sprawdzenie polegało na rejestrowaniu ciśnienia dwoma przetwornikami tego samego typu, umieszczonych po przeciwległych stronach cylindrycznej osłony (pkt. 1 i pkt. 8 zgodnie z rysunkiem 2).

Zestawienie uzyskanych wyników maksymalnego ciśnienia wybuchu, zarejestrowanych podczas badań, przedstawiono w tabeli 1.

Zestawienie wyników jednorodności ciśnienia wybuchu

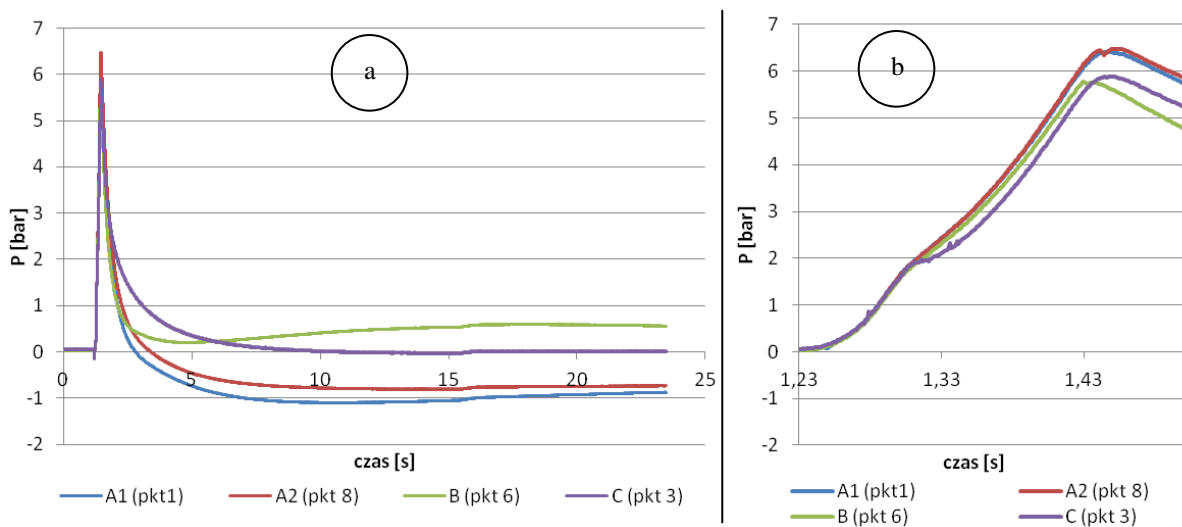
Tabela 1

Nr próby	Typ czujnika (punkt montażu – rys. 2) / $p_{max}$ [bar]		
	A1 (pkt 1)	A2 (pkt 8)	A2-A1
1	6,19	6,17	0,02
2	6,28	6,35	0,07
3	6,29	6,36	0,07
4	6,08	6,15	0,07
5	5,96	6,02	0,06

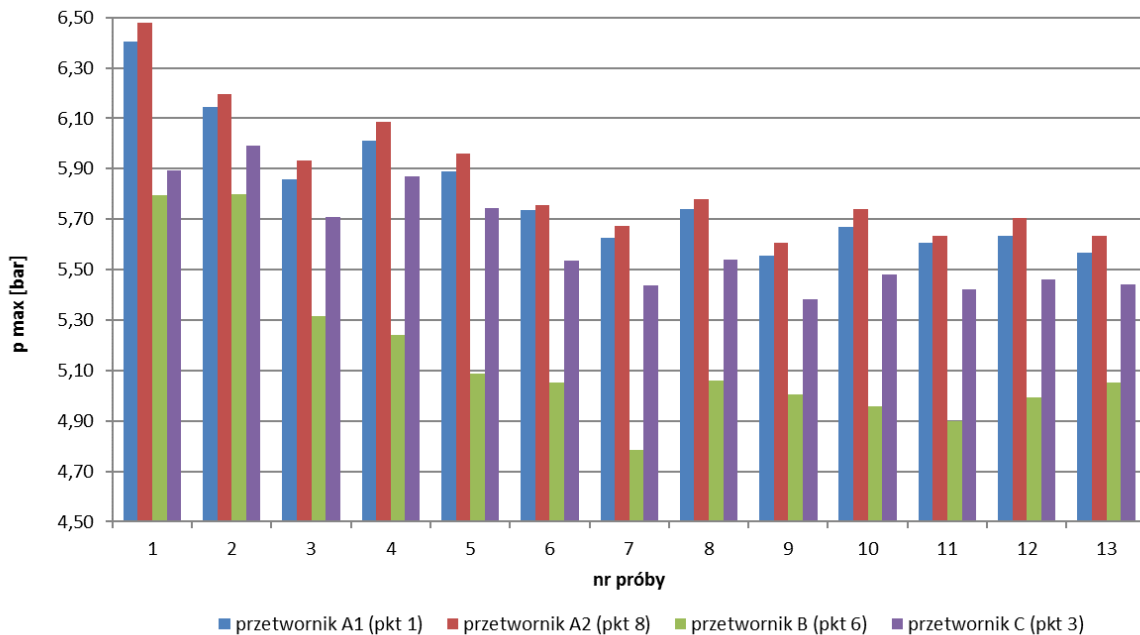
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zastosowana obudowa zapewnia osiągnięcie jednorodnej wartości ciśnienia maksymalnego,  $p_{max}$  – różnice pomiędzy zarejestrowanymi maksymalnymi wartościami ciśnienia, dla dwóch przetworników typu A, umieszczonych po przeciwległych stronach, wykazywały niewielkie różnice (0,02 do 0,07 bar).

#### 4.2. Określenie wartości ciśnienia wybuchu w funkcji temperatury mieszaniny

W trakcie badań przeprowadzono serię 13 prób wybuchu mieszaniny gazowej, z jednoczesną rejestracją występującego w komorze ciśnienia oraz temperatury (komora badawcza nie była studzona). Temperatura mieszaniny gazowej wynosiła od 26°C do 58°C (temperatura mieszaniny bezpośrednio przed inicjacją wybuchu). Na rysunku 3 przedstawiono przykład przebiegów czasowych ciśnienia, zarejestrowane podczas jednej z prób. Na rysunku 4 zaprezentowano maksymalne wartości ciśnienia, które wystąpiły podczas wszystkich 13 prób.

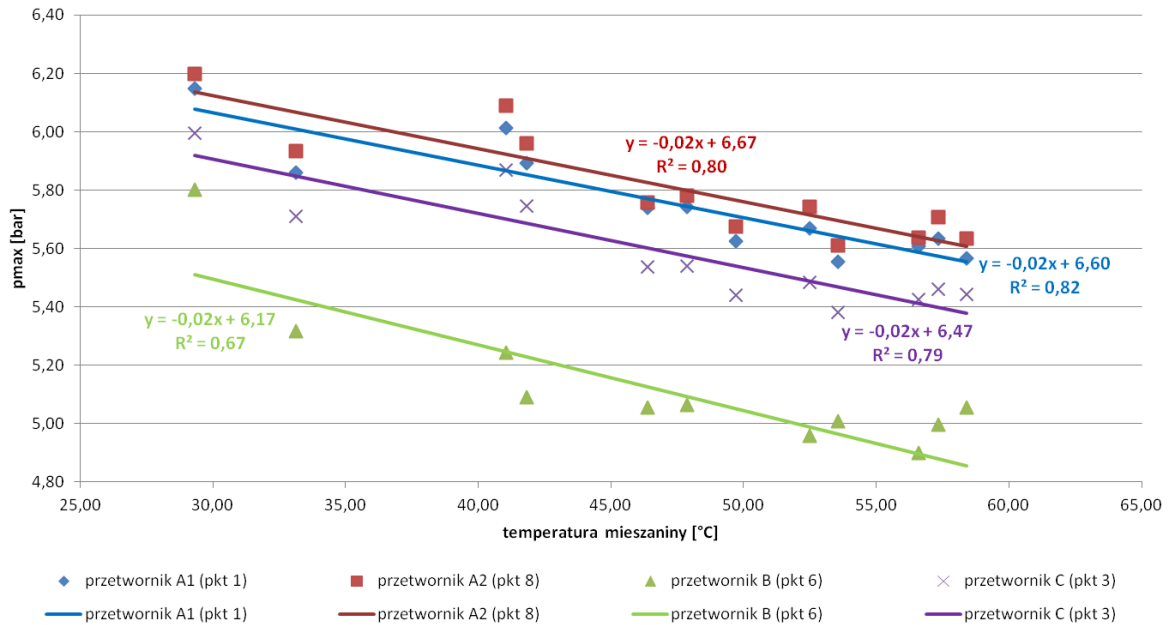


Rys. 3. Przebiegi czasowe ciśnienia zarejestrowane podczas wybuchu mieszaniny gazowej (a – przebieg całkowity, b – moment wybuchu mieszaniny) [1]



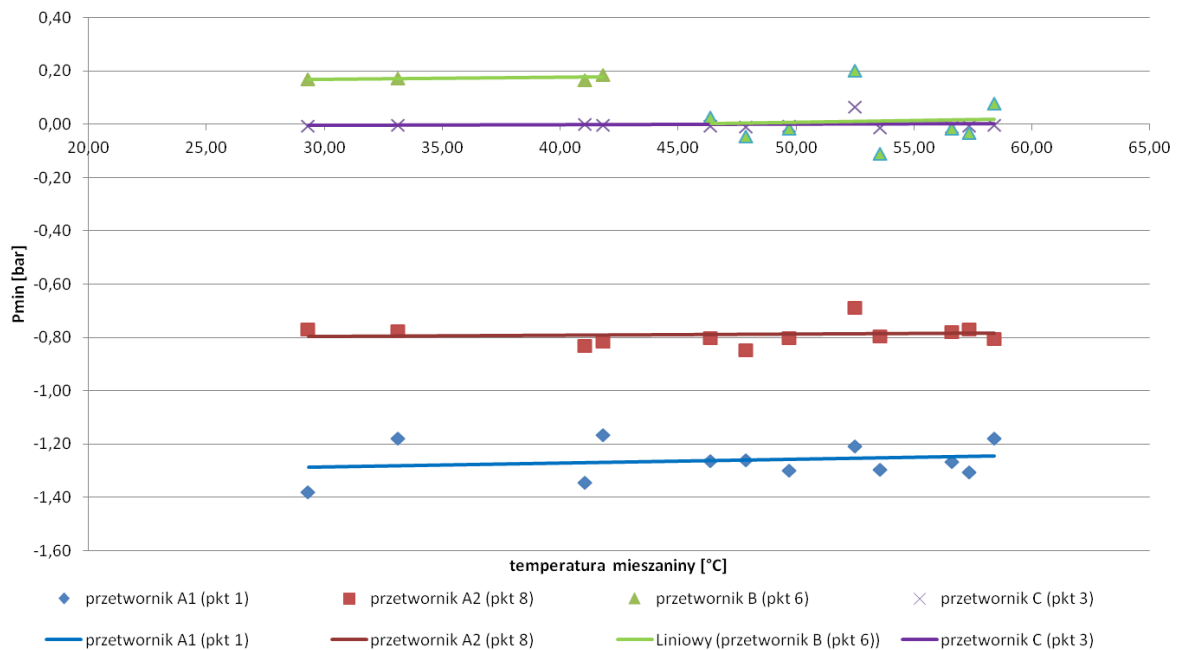
Rys. 4. Zestawienie wyników wartości ciśnienia maksymalnego  $p_{max}$  podczas 13 prób wybuchu [1]

Na rysunku 5 zaprezentowano wyniki maksymalnych wartości ciśnienia, zarejestrowane przez poszczególne przetworniki, w funkcji temperatury mieszaniny wybuchowej.



Rys. 5. Zależność wartości ciśnienia  $p_{max}$  w funkcji temperatury mieszaniny dla poszczególnych przetworników ciśnienia [1]

Analiza wartości ciśnienia rejestrowanego podczas wybuchu wykazała, że temperatura przetwornika przed wybuchem, wynikająca z nagrzewania podczas wybuchów, nie wpływała na minimalne wartości ciśnienia zarejestrowane przez przetworniki typu A1, A2 oraz C. Dla przetwornika typu B, powyżej wartości temperatury 42°C, następował spadek wartości minimalnej ciśnienia do ok. 0 bar (rys. 6).



Rys. 6. Zależność wartości minimalnego ciśnienia rejestrowanego przez poszczególne przetworniki ciśnienia w funkcji temperatury mieszaniny [1]

Analiza wyników badań wykazała również, iż wartość ciśnienia wskazywanego przez przetwornik typu C (w odróżnieniu od przetworników A i B), po wybuchu, wraca do zera. Celem określenia wpływu temperatury na wskazania przetworników typu A i B przeprowadzono próby kontrolowanego nagrzewania.

Przygotowano metalowy adapter, o sześciennym kształcie, z przelotowym otworem gwintowanym, w którym wykonano otwór umożliwiający zamontowanie termopary, możliwie najbliżej powierzchni czujnika ciśnienia. Badania polegały na ogrzaniu adaptera (a tym samym przetwornika) płomieniem z palnika i rejestracji wskazań ciśnienia oraz temperatury przy czujniku ciśnienia (wewnątrz adaptera). Od początku procesu nagrzewania oraz po jego zakończeniu, rejestrowano sygnały z przetwornika ciśnienia oraz przetwornika temperatury. Rejestrację prowadzono do momentu, aż ciśnienie wskazywane przez przetwornik osiągnęło wartość początkową (przed nagrzewaniem). Zarówno w trakcie nagrzewania płomieniem, jak i późniejszego stygnięcia, adapter umieszczono w sposób uniemożliwiający blokadę otworu dolotowego do przetwornika ciśnienia. Widok przetwornika piezoelektrycznego, umieszczonego w adapterze przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Widok przetwornika typu A zamontowanego w adapterze [1]

Wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 2 i 3, natomiast wykres zależności ciśnienia w funkcji temperatury pokazano na rysunkach 8 i 9.

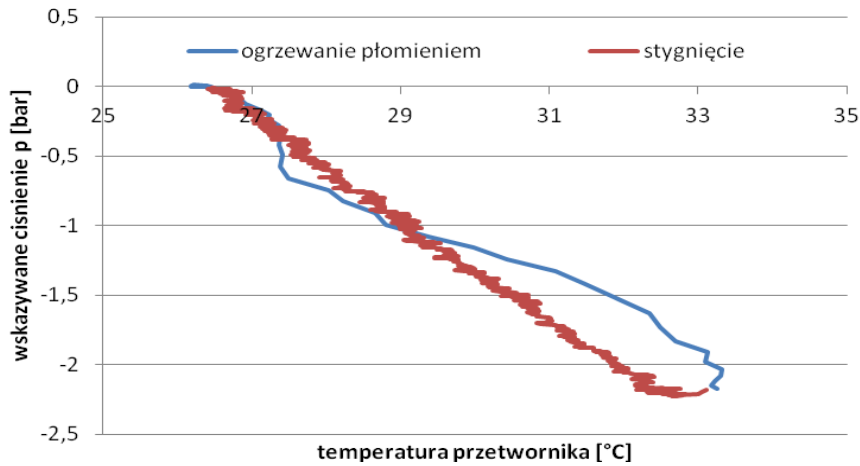
Dla przetwornika typu A stwierdzono silny wpływ temperatury na rejestrowane ciśnienie, już od momentu rozpoczęcia nagrzewania (rys. 8). Dla przetwornika typu B, ogrzewanie do temperatury około 42°C, powodowało zmiany ciśnienia ze znakiem ujemnym. Powyżej tej temperatury wskazania ciśnienia przyjmowały wartości dodatnie – rysunek 9.

Wyniki badań symulowanego nagrzewania przetwornika typu A

Tabela 2

	wskazywane ciśnienie [bar]	temperatura otoczenia [°C]	temperatura w adapterze [°C]
<b>początek badania</b>	-0,00372	22,84	26,40
<b>zakończenie badania</b>	-0,00396	23,00	26,47
$\Delta^1$	-0,00024	0,16	0,07

<sup>1</sup>  $\Delta$  = wartość końcowa – wartość początkowa



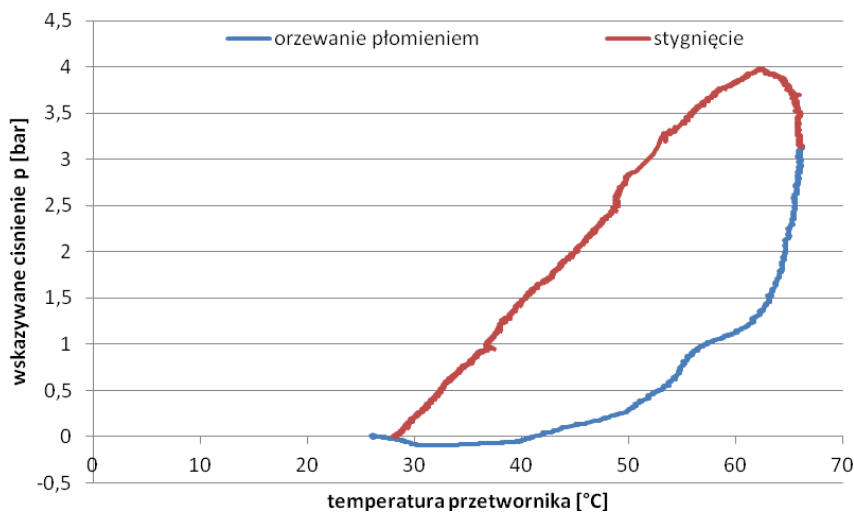
Rys. 8. Zależność ciśnienia rejestrowanego przez przetwornik typu A w funkcji temperatury [1]

Wyniki badań symulowanego nagrzewania przetwornika typu B

Tabela 3

	wskazywane ciśnienie [bar]	temperatura otoczenia [°C]	temperatura w adapterze [°C]
<b>początek badania</b>	-0,01280	22,78	26,20
<b>zakończenie badania</b>	-0,01297	22,82	28,25
$\Delta^1$	-0,00017	0,04	2,06

<sup>1</sup>  $\Delta$  = wartość końcowa – wartość początkowa



Rys. 9. Zależność ciśnienia rejestrowanego przez przetwornik typu B w funkcji temperatury [1]

## 5. Podsumowanie

W trakcie badań porównywano trzy rodzaje przetworników ciśnienia – dwa wykonane w technologii piezoelektrycznej oraz jeden wykonany w technologii cienkowarstwowej. Celem badań było sprawdzenie ich przydatności do badań ciśnienia wybuchu, z wykorzystaniem mieszaniny gazowo-powietrznej, w aspekcie wpływu temperatury oddziałującej na przetwornik.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można stwierdzić, że:

- Przetwornik cienkowarstwowy po zakończeniu wybuchu wraca do wartości początkowej (0 bar).
- Kształt przebiegów zarejestrowany przetwornikiem cienkowarstwowym nie odbiega od przebiegów zarejestrowanych przetwornikami piezoelektrycznymi (szybkość odpowiedzi jest wystarczająca do właściwego odwzorowania badanego zjawiska).
- Charakter zmian ciśnienia w funkcji temperatury dla przetworników A oraz B, był o przeciwnych znakach (dla przetwornika A wzrost temperatury powodował obniżenie wskazań ciśnienia, dla przetwornika B wzrost temperatury powodował wzrost wskazywanego ciśnienia, rysunki: 3, 8 i 9). Może to wynikać z zastosowanego efektu piezoelektrycznego w analizowanych przetwornikach.
- Ze wzrostem temperatury mieszaniny wybuchowej malała wartość maksymalnego ciśnienia wybuchu, co można tłumaczyć faktem, iż ze wzrostem temperatury mieszaniny zmniejszała się jej gęstość, a tym samym ciśnienie wybuchu [4].
- Dla obu przetworników piezoelektrycznych (typu A i B) przebieg ciśnienia podczas stygnięcia (rysunki 9 i 10) był praktycznie liniowy. Nieliniowy charakter przebiegu, wskazywanego ciśnienia w funkcji jego temperatury, w trakcie ogrzewania, wynikał z faktu, iż temperatura była mierzona na jednym z boków przetwornika i ciepło nie rozchodziło się równomiernie.
- Porównując wyniki wartości minimalnych ciśnienia, zarejestrowane podczas wybuchu (na poziomie -1,3 bar dla przetwornika typu A oraz 0,2 bar dla przetwornika typu B) oraz zależności ciśnienia w funkcji temperatury przedstawione na rysunkach 9 i 10, można stwierdzić, iż mimo wysokiej temperatury wybuchu mieszaniny wybuchowej, temperatura przetworników wzrosła jedynie o około 5 °C.
- Dla zastosowanej mieszaniny wybuchowej, przebieg ciśnienia oraz wartość maksymalna uzyskana z przetwornika wykonanego w technologii cienkowarstwowej, nie odbiega znacząco od przebiegu i wartości maksymalnej uzyskanych z przetworników piezoelektrycznych.
- Największe wartości rejestrowano przetwornikiem typu A. Może to wynikać z faktu zastosowania membrany o niskiej wrażliwości na szok termiczny.
- Dla zastosowanej mieszaniny wybuchowej, dobrze sprawdziły się zarówno przetworniki piezoelektryczne typu A oraz cienkowarstwowe typu C. Jako kryterium posłużono się kształtem przebiegu rejestrowanego ciśnienia oraz zarejestrowanej



wartości maksymalnej ciśnienia – która jest istotna z punktu widzenia bezpieczeństwa (na jej podstawie określane jest ciśnienie próbne dla wytrzymałości mechanicznej).

- Ze względu na fakt, iż dla innych mieszanin próbnych, szybkość narastania ciśnienia jest większa, należy być ostrożnym przy stosowaniu przetworników cienkowarstwowych, gdyż szybkość ich odpowiedzi może okazać się niewystarczająca.

## Literatura

- [1] Lesiak K. Analiza wpływu szybkich zmian temperatury na wynik ciśnienia wybuchu ITG KOMAG, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane)
- [2] PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”
- [3] PN-EN ISO/IEC 17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących
- [4] PTB Working Group 3.54: Best Practice Paper Recommendation to improve the effectiveness of the determination of explosion pressure. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 2013-06-01
- [5] PTB Working Group 3.54: Procedure Instruction of program “Flame Transmission-Test Round 2013”. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 2013-08-01
- [6] [http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech\\_Pres](http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Pres) (25.11.2016)

*Czy wiesz, że ....*

*...weszły już w życie lub osiągnęły szczyt konsultacji społecznych najnowsze rozwiązania prawne, które umożliwią poprawę jakości powietrza w Polsce. Wśród nich jest m.in. projekt 2016/09/23 Rozporządzenia Ministra Rozwoju „W sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe o mocy nie większej niż 500 kW”, który być może zostanie wprowadzony w 2017 r. Jest to bardzo ważne, ponieważ odnotowuje się w czasie trwania tzw. sezonu grzewczego stały wzrost stężeń monitorowanych zanieczyszczeń w powietrzu. Winą za przekroczenia dopuszczalnych stężeń np. PM10 czy B(a)P obarcza się sektor ogrzewnictwa indywidualnego, oparty na spalaniu paliw stałych - głównie węgla kamiennego. Pomimo wydatkowania znacznych kwotowo funduszy na modernizację infrastruktury grzewczej, od kilkunastu już lat sytuacja nie ulega satysfakcjonującej poprawie. Taki stan, prócz narastającego niezadowolenia polskiego społeczeństwa dotkliwie odczuwającego skutki złej jakości powietrza, zaczyna być również istotny w związku z możliwością nałożenia przez UE na Polskę kar pieniężnych. W celu rozwiązania problemu złej jakości powietrza w Polsce, od kilku lat podejmowane są wzmożone działania także na poziomie samorządów.*

*Karbo 2017 nr 3-4 s.65-70*