Gazomierze miechowe. Dobór do odbiorcy gazu
Diaphragm gas meters. Selection to Natural Gas Consumer

Józef Dopke, APATOR METRIX S.A.

Słowa kluczowe: gazomierz, gazomierz miechowy, błąd wskazań, dopuszczalny błąd graniczny, stabilność błędu wskazań, strata ciśnienia, objętość cykliczna, szybkobieżność, okres ważności dowodu legalizacji, legalizacji pierwotna, trwałość.

Streszczenie: Podano kryteria doboru gazomierzy miechowych do odbiorcy gazu ziemnego takie jak zakres obciążeń od aparatów gazowych, szybkobieżność, zakres temperatury gazu i otoczenia, okres ważności dowodu legalizacji, przewidywane zużycie roczne gazu. Omówiono przeliczanie charakterystyk metrologicznych z powietrza na mierzony gaz.

Kryteria doboru gazomierzy miechowych do odbiorcy gazu

Dobór gazomierza miechowego należy przeprowadzać w oparciu o **[1]**:

- minimalny, maksymalny oraz najbardziej prawdopodobny pobór gazu **[2-4],**
- objętość cykliczną **[1]**,
- dopuszczalną temperaturę transportu i magazynowania **[5],**
- dopuszczalną temperaturę otoczenia i odmierzanego gazu **[5],**
- okres ważności dowodu legalizacji lub prawdopodobny okres pracy gazomierzy **[6],**
- prognozowane zużycie gazu w okresie ważności legalizacji lub przewidywanego okresu pracy **[7],**
- stabilność błędu wskazań podawaną przez producenta lub inne laboratoria badawcze **[8,9]**,
- klimat kraju, do którego przeznaczony jest gazomierz **[10].**

Przeliczanie charakterystyk metrologicznych z powietrza na mierzony gaz

Użycie powietrza w badaniach gazomierzy związane jest z prostotą i bezpieczeństwem ich prowadzenia. Z wyznaczonych charakterystyk metrologicznych dla powietrza o masie właściwej 1,2 kg/m^3 wyznacza się charakterystyki metrologiczne dla tych gazów **[4],** które będzie odmierzał gazomierz.

Obliczenie dolnej granicy zakresu obciążeń pomiarowych dla gazu

Dolną granicę obciążeń pomiarowych dla odmierzanego gazu $Q_{min\,g}$ oblicza się ze wzoru

$$Q_{\min g} = \frac{\mu_p}{\mu_g} * Q_{\min p} \qquad (1)$$

gdzie: μ_p – współczynnik lepkości dynamicznej powietrza,
μ_g – współczynnik lepkości dynamicznej gazu,
$Q_{min\,p}$ – minimalne obciążenie dla powietrza,
$Q_{min\,g}$ – minimalne obciążenie dla gazu.

Po podstawieniu wartości do wzoru otrzymuje się wzór dla gazu ziemnego wysokometanowego

$$Q_{min\ gz} = 1{,}468 * Q_{min\ p} \quad (2)$$

Podobnie otrzymuje się wzór dla gazu ziemnego zaazotowanego w postaci

$$Q_{min\ gz} = 1{,}567 * Q_{min\ p} \quad (3)$$

W wielu publikacjach do celów doboru zakresu pomiarowego gazomierzy miechowych do obciążeń w instalacji przyjmuje się wzór:

$$Q_{min\ g} = m * Q_{min\ p} \quad (4)$$

gdzie wartość współczynnika m równa się 1,3 dla gazu miejskiego, 1,5 dla gazu ziemnego i 2 dla propano-butanu.

Obliczenie progu rozruchu gazomierzy dla gazu

W obecnych przepisach wymagane jest zliczanie przy tak zwanym progu rozruchu. Jego wartość dla powietrza wynosi nie więcej niż: 3 dm^3/h dla gazomierzy G1,6, 5 dm^3/h dla gazomierzy G2,5 i G4 oraz 8 dm^3/h dla gazomierzy G6. Wymaganie to zapewnia zliczanie gazu spalanego przez palnik zapalający, tak zwaną „świecę" w przepływowych grzejnikach wody i piecach centralnego ogrzewania. Próg rozruchu podany dla powietrza przelicza się na strumień objętości odmierzanego gazu identycznie jak dla minimalnego obciążenia. Stosując uproszczoną zależność **(4)** próg rozruchu dla gazomierza G4 wynosi $1{,}5*5\ dm^3/h = 7{,}5\ dm^3/h$ gazu ziemnego i $1{,}5*8\ dm^3/h = 12\ dm^3/h$ gazu ziemnego dla – G6. Przeciętny strumień objętości gazu spalany przez palnik zapalający wynosi około 10 - 40 dm^3/h dla gazu ziemnego wysokometanowego i 20 - 80 dm^3/h dla gazu ziemnego zaazotowanego. Próg rozruchu gazomierzy G4 i G6 dla gazu ziemnego jest mniejszy od spalanego strumienia gazu przez palnik zapalający, więc te typy gazomierzy zapewniają poprawne odmierzanie zużycia gazu przez ten najmniejszy palnik aparatów gazowych.

Obliczenie górnej granicy zakresu obciążeń pomiarowych dla gazu

Górną granicę zakresu obciążeń pomiarowych $Q_{max\ g}$ dla odmierzanego gazu oblicza się ze wzoru:

$$Q_{max\,g} = Q_{max\,p}\sqrt{\rho_p / \rho_g} \quad (5)$$

gdzie: ρ_p – masa właściwa powietrza,
ρ_g – masa właściwa gazu,
$Q_{max\ p}$ – maksymalne obciążenie dla powietrza,
$Q_{max\ g}$ – maksymalne obciążenie dla gazu.

Po podstawieniu wartości do wzoru **(5)** otrzymuje się zależność dla:
- gazu ziemnego wysokometanowego

$$Q_{max\ gz} = 1{,}270 * Q_{max\ p} \quad (6)$$

- gazu ziemnego zaazotowanego

$$Q_{max\ gz} = 1{,}239 * Q_{max\ p} \quad (7)$$

Ze względu na niewielkie różnice we wzorach **(6)** i **(7)** w wielu publikacjach do celów doboru zakresu obciążeń pomiarowych gazomierzy miechowych do obciążeń w instalacjach przyjmuje się wartość masy właściwej dla:
- powietrza ρ_p=1,2 kg/m^3,
- gazu miejskiego ρ_{gm}=0,54 kg/m^3,
- gazu ziemnego ρ_{gz}=0,73 kg/m^3,
- propano-butanu ρ_{pb}=2,24 kg/m^3.

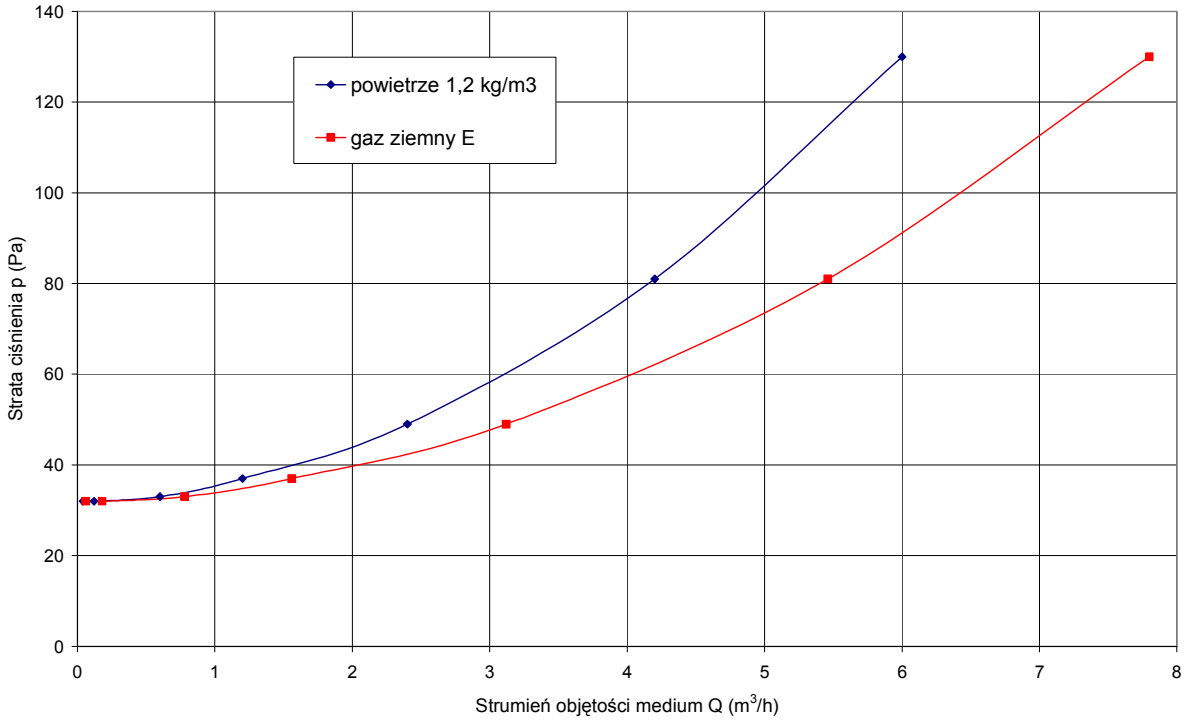
Po podstawieniu tych wartości do wzoru **(5)** otrzymuje się dla:

$$Q_{max\ g} = k_* Q_{max\ p} \qquad (8)$$

gdzie wartość współczynnika k równa się 1,5 dla gazu miejskiego, 1,3 dla gazu ziemnego, 0,9047 dla mieszaniny propano-butanu z powietrzem, 0,763 dla propanu technicznego i 0,73 dla propano-butanu.

Wykreślenie krzywej błędów wskazań i strat ciśnienia dla gazu

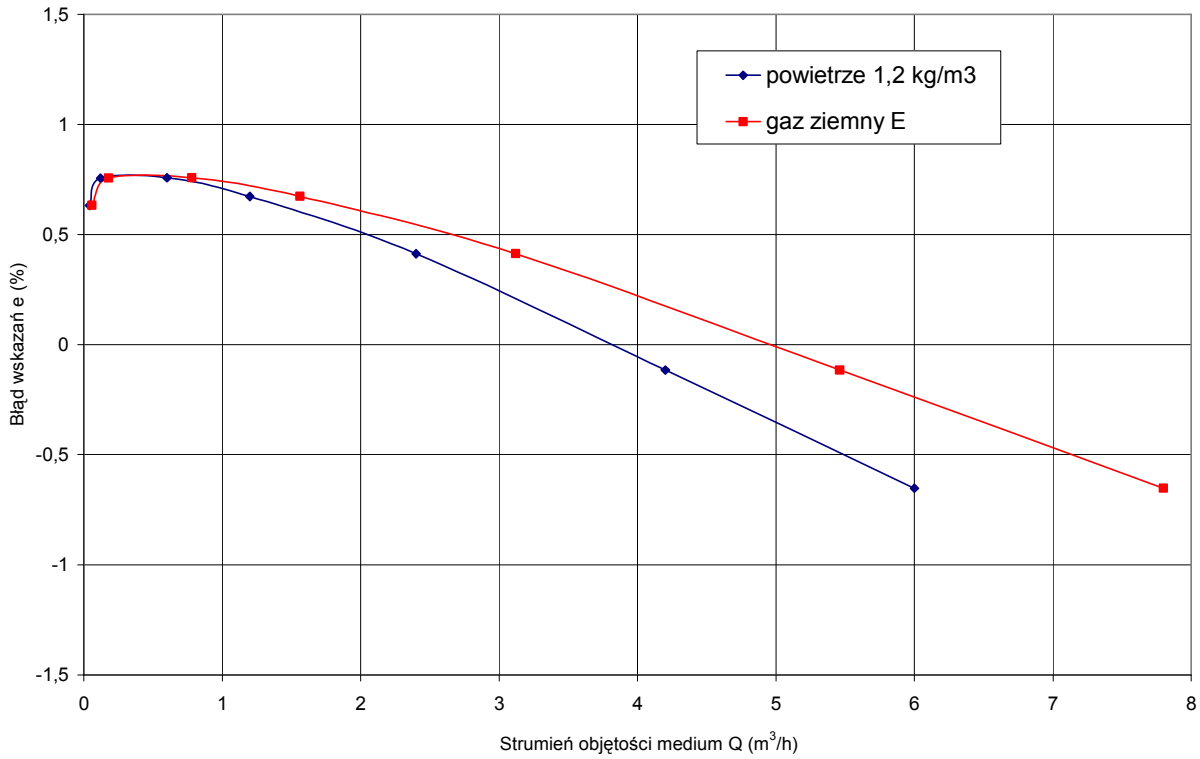
Najczęściej do celów praktycznych przyjmuje się przy obliczeniach dla obciążeń równych i większych niż $0{,}1Q_{max}$ wartość współczynnika k równą 1,3 dla wszystkich typów gazu ziemnego występujących w Polsce. Dla obciążeń Q mniejszych od $0{,}1Q_{max}$ strata ciśnienia dla powietrza jest praktycznie stała i krzywe strat ciśnienia dla powietrza i gazu pokrywają się. W przypadku obciążeń Q większych od $0{,}1Q_{max}$ krzywa strat ciśnienia dla gazu powstaje poprzez przesunięcie punktu o współrzędnych (p; Q) krzywej dla powietrza w punkt (p; kQ) krzywej dla gazu. Powtarzając tę czynność dla każdego $Q \geq 0{,}1Q_{max}$ otrzymuje się krzywą strat ciśnienia dla gazu **(rys. 1)**.



Rys. 1. Wykresy krzywej początkowej straty ciśnienia w funkcji obciążenia strumieniem powietrza o masie właściwej 1,2 kg/m^3 i gazu ziemnego wysokometanowego E (GZ-50) gazomierza miechowego G4 2001 METRIX o objętości cyklicznej V=2,2 dm^3.

Strata ciśnienia wpływa na objętość cykliczną mechanizmu pomiarowego. Dlatego punkt (e; Q) krzywej błędu wskazań dla powietrza przechodzi w punkt (e; kQ) krzywej błędu wskazań dla gazu **(rys. 2)**. Dla małych obciążeń $Q<0,1Q_{max}$ punkt (e; Q) krzywej błędu wskazań dla powietrza przechodzi w punkt (e; mQ) krzywej błędu wskazań dla gazu, gdzie m=1,5 dla gazu wysokometanowego i zaazotowanego.

Wykres krzywej błędu wskazań w funkcji obciążenia względnego Q/Q_{max} dotyczy zarówno powietrza jak i gazu. Dla obciążeń Q większych od $0,1Q_{max}$ wartość obciążenia względnego dla gazu wynosi $x = Q_g/Q_{max\,g} = k*Q_p/k*Q_{max\,p} = Q_p/Q_{max\,p}$. Wartość ta odpowiada obciążeniu względnemu dla powietrza $x = Q_g/Q_{max\,g} = Q_p/Q_{max\,p}$. Podobną zależność można wykazać dla obciążeń mniejszych od $0,1Q_{max}$.



Rys. 2. Wykresy krzywej początkowego błędu wskazań w funkcji obciążenia strumieniem powietrza o masie właściwej 1,2 kg/m^3 i gazu ziemnego wysokometanowego E (GZ-50) gazomierza miechowego G4 2001 METRIX o objętości cyklicznej V=2,2 dm^3.

Dobór wielkości gazomierzy według zakresu obciążeń

Poprawny dobór wielkości mieszkaniowych gazomierzy miechowych do chwilowego zużycia gazu ziemnego przez gospodarstwa domowe zapewnia dokładność rozliczeń za dostarczony gaz oraz trwałość gazomierzy. Powyższe zagadnienie będzie omówione na przykładzie gospodarstw domowych wyposażonych w kuchnię, grzejnik wody i niskotemperaturowy kocioł gazowy centralnego ogrzewania. W **tabeli 1** podano zużycie godzinowe gazu ziemnego wysokometanowego E (dawne oznaczenie GZ-50) oraz równoważny strumień objętości powietrza dla palników typowych odbiorników gazu obecnych na polskim rynku.

Opomiarowanie dostaw gazu wysokometanowego E (GZ-50)

Zakres obciążeń gazomierza od kuchni Amica WRONKI S. A. o mocy 10,1 kW wynosi od 0,024 do 1,111 m^3/h gazu E. Zakres obciążeń od grzejnika wody o mocy 24,4 kW wynosi od 0,01 do 0,018 m^3/h gazu E dla palnika zapalającego, do 0,762-3,351 m^3/h gazu dla głównego palnika, a więc od 0,01 do 3,351 m^3/h gazu E. Jednofunkcyjny kocioł obciąża gazomierz strumieniem gazu E o wartościach od 0,01 do 1,21 m^3/h dla mocy nominalnej 10 kW, do 2,42 m^3/h dla mocy 20 kW, do 3,52 m^3/h dla mocy 29 kW, do 4,5 m^3/h dla mocy 36 kW i do 5,24 m^3/h dla mocy 41 kW.

Tabela 1. Strumień objętości gazu ziemnego E (dawne oznaczenie GZ-50) spalanego przez palniki odbiorników gazu obecnych na polskim rynku, równoważny strumień objętości powietrza o masie właściwej 1,2 kg/m^3 oraz wielkość gazomierza do opomiarowania odbiorników.

Rodzaj odbiornika gazu	Zużycie godzinowe gazu ziemnego E	Równoważny strumień objętości powietrza	Wielkość gazomierza do opomiarowania
---	m^3/h	m^3/h	---
palnik zapalący grzejnika wody 0,18 kW lub kotła CO	0,01-0,018	0,007-0,012	---
mały palnik 0,9 kW kuchni	0,024-0,099	0,014-0,067	---
średni palnik 1,6 kW kuchni	0,036-0,176	0,024-0,139	---
duży palnik 2,6 kW kuchni	0,058-0,286	0,039-0,225	---
palnik piekarnika 3,4 kW kuchni	0,067-0,374	0,045-0,294	---
5 palników kuchni 10,1 kW	0,024-1,111	0,016-0,875	G1,6
palnik główny grzejnika wody 8,7 kW	0,28-1,23	0,22-0,969	G1,6
palnik główny grzejnika wody 17,4 kW	0,545-2,39	0,43-1,88	G1,6
palnik główny grzejnika wody 19,2 kW	0,581-2,637	0,457-2,076	G1,6
palnik główny grzejnika wody 22,7 kW	0,708-3,116	0,559-2,454	G1,6
palnik główny grzejnika wody 24,4 kW	2,286-3,351	1,8-2,639	G2,5
palnik głowny kotła CO 10 kW	0,33-1,21	0,26-0,953	G1,6
palnik główny kotła CO 15 kW	0,9-1,8	0,71-1,417	G1,6
palnik główny kotła CO 17 kW	1,0-2,0	0,789 -1,575	G1,6
palnik główny kotła CO 20 kW	0,66-2,42	0,45-1,91	G1,6
alnik główny kotła CO 23 kW	1,100-2,72	0,866-2,142	G1,6
palnik główny dwufunkcyjnego kotła CWU 23,5 kW	0,996-2,86	0,784-2,252	G1,6
palnik główny dwufunkcyjnego kotła CWU 29 kW	1,655-3,52	1,30-2,772	G2,5
kuchnia 10,1 kW + grzejnik wody 8,7 kW	0,024-2,341	0,016-1,843	G1,6
kuchnia 10,1 kW + grzejnik wody 17,4 kW	0,024-3,501	0,016-2,757	G2,5
kuchnia 10,1 kW + grzejnik wody 24,4 kW	0,024-4,462	0,016-3,513	G2,5
kuchnia 10,1 kW + dwufunkcyjny kocioł CWU 23,5 kW	0,024-3,971	0,016-3,127	G2,5
kuchnia 10,1 kW + dwufukcyjny kocioł CWU 29 kW	0,024-4,631	0,016-3,646	G2,5
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 17,4 kW + kocioł CO 10 kW	0,024-4,711	0,016-3,709	G2,5
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 19,2 kW + kocioł CO 10 kW	0,024-4,958	0,016-3,904	G2,5
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 22,7 kW + kocioł CO 10 kW	0,024-5,437	0,016-4,281	G4
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 17,4 kW + kocioł CO 15 kW	0,024-5,301	0,016-4,174	G4
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 24,4 kW + kocioł CO 17 kW	0,024-6,462	0,016-5,088	G4
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 24,4 kW + kocioł CO 20 kW	0,024-6,882	0,016-5,419	G4
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 24,4 kW + kocioł CO 23 kW	0,024-7,182	0,016-5,655	G4
kuchnia 10,1 kW+ grzejnik wody 24,4 kW + kocioł CO 29 kW	0,024-7,982	0,016-6,285	G6

Zakresy obciążeń pomiarowych gazomierzy mieszkaniowych dla gazu ziemnego wysokometanowego E podano w **tabeli 2 [3]**. Maksymalne chwilowe obciążenie gazomierza od równoczesnej pracy kuchni Amica WRONKI S. A. o mocy 10,1 kW, grzejnika wody o mocy 24,4 kW i jednofunkcyjnego kotła CO o mocy: 10 kW wynosi 5,672 m^3/h, 20 kW - 6,881 m^3/h, 29 kW - 7,981 m^3/h, 36 kW - 8,661 m^3/h, 41 kW - 9,761 m^3/h. Zakres obciążeń pomiarowych

gazomierza G4 wynosi od Q_{min}=0,059 m^3/h do Q_{max}=7,62 m^3/h gazu E, więc gazomierz ten może poprawnie opomiarować gospodarstwo domowe wyposażone w kuchnię 10,1 kW, grzejnik wody 24,4 kW i jednofunkcyjny kocioł CO o mocy nominalnej do 20 kW. Gospodarstwa domowe o mocy kotła większej niż 20 kW należy opomiarować gazomierzem G6.

Tabela 2. Górna granica progu rozruchu, dolna i górna granica obciążeń pomiarowych oraz obciążenie nominalne dla gazu ziemnego wysokometanowego E (GZ-50).

Wielkość gazomierza	Próg rozruchu	Dolna granica obciążeń pomiarowych	Nominalne obciążenie	Górna granica obciążeń pomiarowych
	Q_{pr} górna granica	Q_{min} górna granica	Q_n	Q_{max}
	m^3/h	m^3/h	m^3/h	m^3/h
G1,6	0,0044	0,023	2,032	3,175
G2,5	0,0073	0,037	3,175	5,08
G4	0,0073	0,059	5,08	7,62
G6	0,0117	0,088	7,62	12,7
G10	0,0191	0,147	12,7	20,32

Kotły jednofunkcyjne CO o mocy 15 kW mogą ogrzać pomieszczenia o powierzchni 100 m^2 w starym budownictwie lub 180 m^2 w nowym budownictwie, kotły o mocy 23 kW odpowiednio 150 m^2 i 280 m^2, o mocy 29 kW - 200 m^2 i 375 m^2, o mocy 36 kW - 240 m^2 i 450 m^2 a o mocy 41 kW - 280 m^2 i 525 m^2.

Wpływ objętości cyklicznej i klimatu na dobór gazomierza [10]

Żeby odmierzyć 30 tys. m^3 zgodnie z próbą stabilności błędu wskazań **[8, 9]** mechanizm pomiarowy gazomierza G4 o nominalnej objętości cyklicznej 2,4 dm^3 wykona dwa razy mniej cykli niż mechanizm gazomierza G4 o nominalnej objętości cyklicznej 1,2 dm^3. Trwałość przepon syntetycznych zależy od liczby wykonanych cykli w ujemnych temperaturach. Producenci dla krajów basenu Morza Śródziemnego produkują gazomierze G4 o małej objętości cyklicznej 1,2 dm^3 ze względu na łagodniejsze zimy o mniejszej liczbie stopniodni grzania i mniejsze roczne zużycie gazu ziemnego przez gospodarstwa domowe.

Małe średnie roczne zużycie gazu w Polsce **(tabela 3)** wynika z odmiennej struktury odbiorców gazu. W Polsce około 55% odbiorców ma tylko kuchnię gazową a około 20% kuchnię gazową i gazowy podgrzewacz wody. Tylko około 20% odbiorców ogrzewa mieszkanie gazem. Średnie roczne zużycie gazu ziemnego w Austrii o liczbie stopniodni grzania Sd(18°C)=3248°Cdni w 2002 r. wynosiło 2240 m^3/rok**.** W Polsce o podobnej liczbie stopniodni grzania Sd(18°C)=3347°Cdni, zużycie w gminie Szubin o podobnej strukturze wyposażenia gospodarstw domowych w aparaty gazowe (80% odbiorców ma gazowe kotły CO) wynosiło 2167 m^3/rok w 1997 r., 2382 m^3/rok w 1998 r. i 2733 m^3/rok w 1999 r. W Niemczech w 2003 r. średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych zachodnich landów wynosiło 1620±73 m^3/rok. W Niemczech bardzo dużo odbiorców gazu ogrzewa mieszkanie gazem ale podgrzewa wodę użytkową i przygotowuje posiłki przy użyciu energii elektrycznej. W Danii tylko 1% odbiorców gazu ziemnego ma kuchnie gazowe. Podobnie jak w Niemczech użytkuje się tam kuchnie elektryczne.

Gospodarstwa domowe w takich krajach jak Hiszpania o liczbie stopniodni grzania 1629°Cdni, Włochy - 1820°Cdni, czy Francja - 2187°Cdni, w 2002 r. zużywały odpowiednio średnio 622 m^3/rok, 1288 m^3/rok, 1451 m^3/rok gazu ziemnego. To zużycie gazu w gospodar-

stwach domowych ogrzewających mieszkanie gazem jest prawie dwukrotnie mniejsze w Hiszpanii, Włoszech czy Francji niż w Austrii, Danii czy Polsce **(tabela 3).**

*Tabela 3. Roczne stopniodni grzania Sd(18°C) dla temperatury granicznej 15°C dla lat 2000-2004 (Źródło: Eurostat. Environment and Energy 5/2006) oraz średnie roczne zużycie gazu ziemnego przez gospodarstwo domowe (wg EUROGAS) przeliczone na gaz ziemny o cieple spalania 39 MJ/m³ (1 PJ=25,6 mln m³), * według polskich danych.*

Kraj	Liczba stopniodni grzania Sd(18°C) w °Cdniach					Średnie roczne zużycie gazu w m³/rok		
---	2000	2001	2002	2003	2004	2000	2001	2002
Polska*	3094	3580	3347	3602	3518	513*	611*	585*
Austria	3183	3507	3248	3474	3561	2051	2315	2240
Dania	3080	3424	3130	3287	3274	2128	2249	2282
W. Brytania	3247	3369	3141	3084	3075	1665	1694	1600
Niemcy	2797	3124	2974	3135	3186	1055	1129	1084
Irlandia	2823	2834	2739	2665	2730	1482	1507	1369
Holandia	2492	2726	2602	2766	2774	1457	1496	1483
Belgia	2534	2736	2552	2711	2798	1618	1753	1656
Francja	2242	2385	2187	2361	2480	1457	1554	1451
Włochy	1959	1833	1820	1971	2010	1301	1356	1288
Hiszpania	1814	1750	1629	1770	1915	534	--	622
Portugalia	1291	1264	1162	1261	1368	--	--	259
Cypr	800	586	658	728	763	--	--	--
Malta	462	378	425	583	500	--	--	--
UE-25	3128	3340	3159	3247	3239	--	--	--
UE-15	--	--	--	3195	3201	--	--	--

Zależność średniego rocznego zużycia gazu ziemnego od liczby stopniodni grzania można prześledzić również na przykładzie 25 miast stanu Teksas w USA **(tabela 4).**

W krajach północnej Europy, takich jak Wielka Brytania, Belgia i Niemcy, dostawcy gazu wprowadzają do opomiarowania głównie gazomierze o objętości cyklicznej 2 dm³, również na skutek instalowania gazomierzy na zewnątrz budynków.

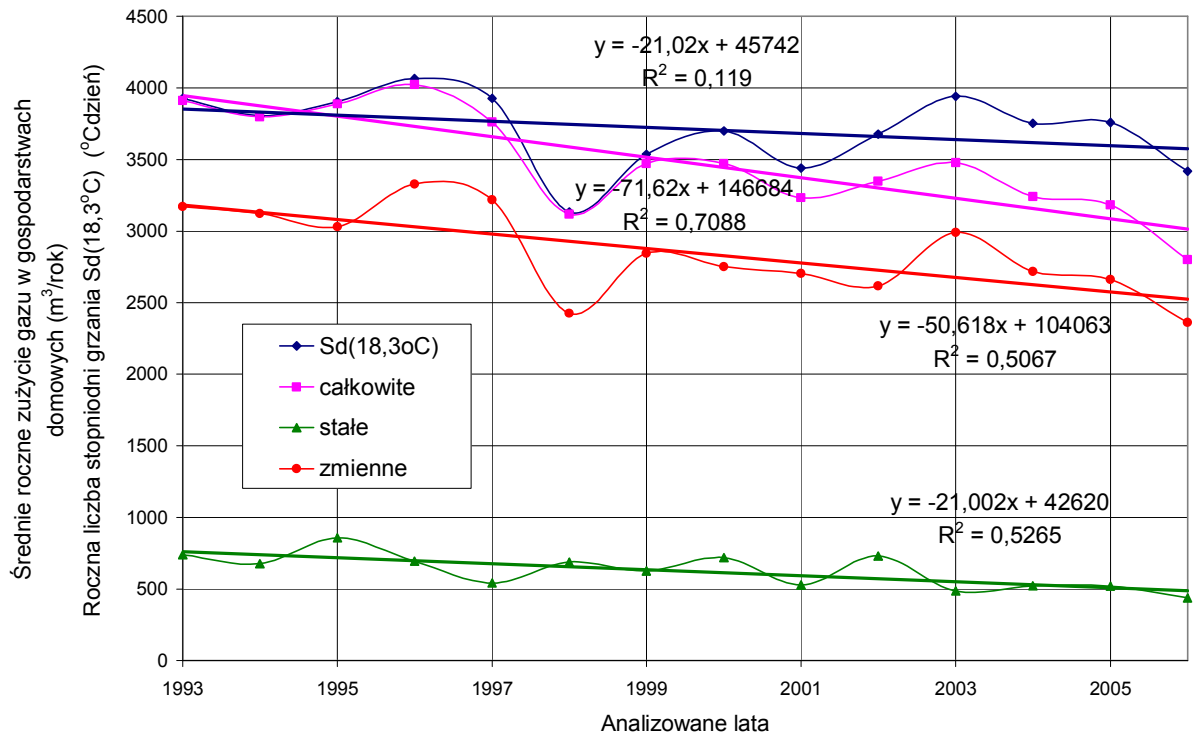
W Wielkiej Brytanii z gazomierzy mieszkaniowych (G1,6, G2,5, G4, G6) stosuje się tylko jedną wielkość - G4 do opomiarowania dostaw gazu ziemnego do gospodarstw domowych. Niewielkie ilości gazomierzy G1,6 (U3 produkcji Actaris Stretford o objętości cyklicznej 1 dm³ oraz MR1,6 Invensys Energy Metering o objętości cyklicznej 0,7 dm³) używa się do opomiarowania dostaw propanu. Łączna liczba gazomierzy miechowych (oznaczanych U6) oraz elektronicznych (ultradźwiękowych oznaczanych E6) eksploatowanych w Wielkiej Brytanii wynosi 22 mln. Prawie wszystkie gazomierze miechowe G4 mają objętość cykliczną 2 dm³. Takie gazomierze na rynek brytyjski dostarczały i dostarczają: Kromschroeder, zakłady z grupy Actaris Metering Systems (Actaris Stretford, Torn EMI Gas Metering przejęty w 1989 r. i Parkinson Cowan), zakłady z grupy Sensus Metering Systems (Invensys i UGI United Gas Industries) oraz zakład z grupy Georg Wilson Industries Ltd - GMT Gaselan. W eksploatacji znajdują się tylko niewielkie ilości gazomierzy G4 o objętości cyklicznej 1,2 dm³ produkcji Magnol i Nuovo Pignone. Obecnie GWI GMT Gaselan rozpoczął dostawy na rynek brytyjski gazomierzy G4 o objętości cyklicznej 1,2 dm³. Tacy wielcy producenci jak Kromschroeder z grupy ELSTER AMCO, czy Actaris Metering Systems nie sprzedają swoich gazomierzy o objętości cyklicznej 1,2 dm³ na rynku brytyjskim.

W Wielkiej Brytanii znajdują się w eksploatacji również gazomierze ultradźwiękowe E6 produkcji Landis+Gyr, Siemens oraz Sensus (Invensys, Eurometers).

Tabela 4. Średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w 25 miastach stanu Teksas, USA uszeregowanych od północy stanu do południa oraz roczna liczba stopniodni grzania Sd(18,3^{o}C). Źródło: Company Annual Reports

Miasto	Liczba gospodarstw w grudniu 2002 r.	Liczba stopniodni w 2001 r.	Średnie zużycie gazu w 2001 r.	Liczba stopniodni w 2002 r.	Średnie zużycie gazu w 2002 r.	Normalna liczba stopniodni grzania
---	sztuk	^{o}Cdni	m^3/rok	^{o}Cdni	m^3/rok	^{o}Cdni
Amarilo	60512	2442	2350,1	2073	2378,4	2366
Wichita Falls	22742	1880	1812,1	1488	1812,1	1690
Texarkana	11368	1677	1217,5	1427	2293,4	1587
Sherman	8506	1596	1897,0	1517	1925,4	1606
Lubbock	58117	2120	1953,7	1786	1982,0	1906
Abilene	27301	1712	1698,8	1307	1755,5	1436
Fort Worth	107469	1591	1783,8	1224	1755,5	1337
Dallas	210075	1478	2321,8	1152	2265,1	1255
Tyler	28169	1406	2038,6	1087	1840,4	1352
Midland	27184	1697	1925,4	1473	1982,0	1528
El Paso	157043	1536	1415,7	1315	1472,3	1504
San Angelo	19997	1543	1359,1	1214	1415,7	1341
Odessa	26124	1697	1727,2	1473	1812,1	1528
Temple	9317	1451	1500,6	1189	1629,0	1196
Waco	23508	1388	1642,2	1015	1583,6	1211
Bryan	15467	1149	1302,4	918	1302,4	993
Beaumont	27296	988	1585,6	726	1415,7	932
Austin	167817	1137	1330,8	849	1302,4	938
Galveston	14520	658	1245,8	623	1189,2	702
Houston	601874	1013	1642,2	783	1472,3	762
San Antonio	285025	1058	1160,9	834	1245,8	913
Corpus Christi	52594	646	849,4	466	849,4	564
Loredo	22759	658	707,9	443	651,2	569
Mc Allen	9249	472	651,2	337	622,9	385
Brownsville	16015	644	594,6	300	566,3	353

Na **rys. 3** podano roczną liczbę stopniodni grzania Sd(18,3^{o}C) (Sd(18,3^{o}C)= -21,02x+45742), średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych całkowite, zmienne oraz stałe dla stanu Michigan w latach 1993-2006. Całkowite i zmienne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych faluje tak jak zmienia się liczba stopniodni grzania. Prosta regresji całkowitego zużycia gazu ma równanie y= -71,62x+146684, gdzie x – rok od 1993 do 2006 r. Średni roczny spadek zużycia gazu wynosi 71,62 m^3/rok, w tym stałego zużycia gazu o 21,00271,62 m^3/rok. Część spadku zmiennego zużycia gazu spowodowane jest ociepleniem klimatycznym. Liczba stopniodni grzania spada średnio o 21,02^{o}Cdni/rok.



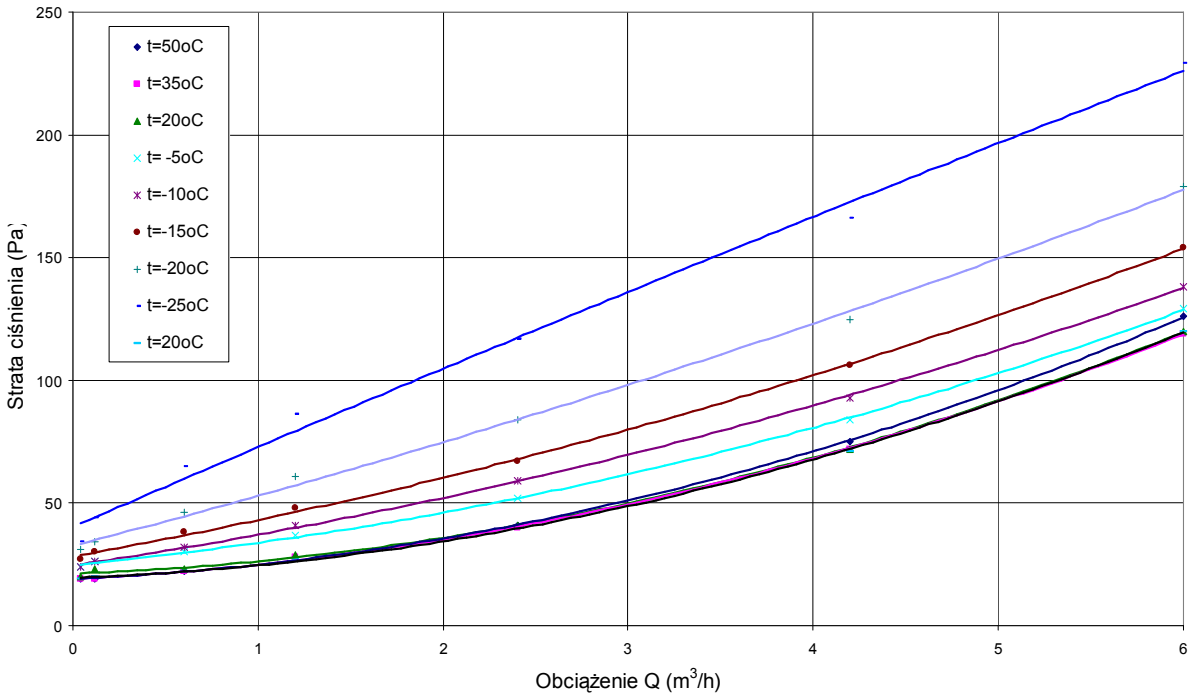
Rys. 3. Średnie roczne (stałe, zmienne i całkowite) zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych oraz liczba stopniodni grzania Sd(18,3°C) dla stanu Michigan, USA w latach 1993-2006.

Wpływ temperatury otoczenia i gazu na właściwości metrologiczne gazomierzy bez temperaturowego przelicznika objętości

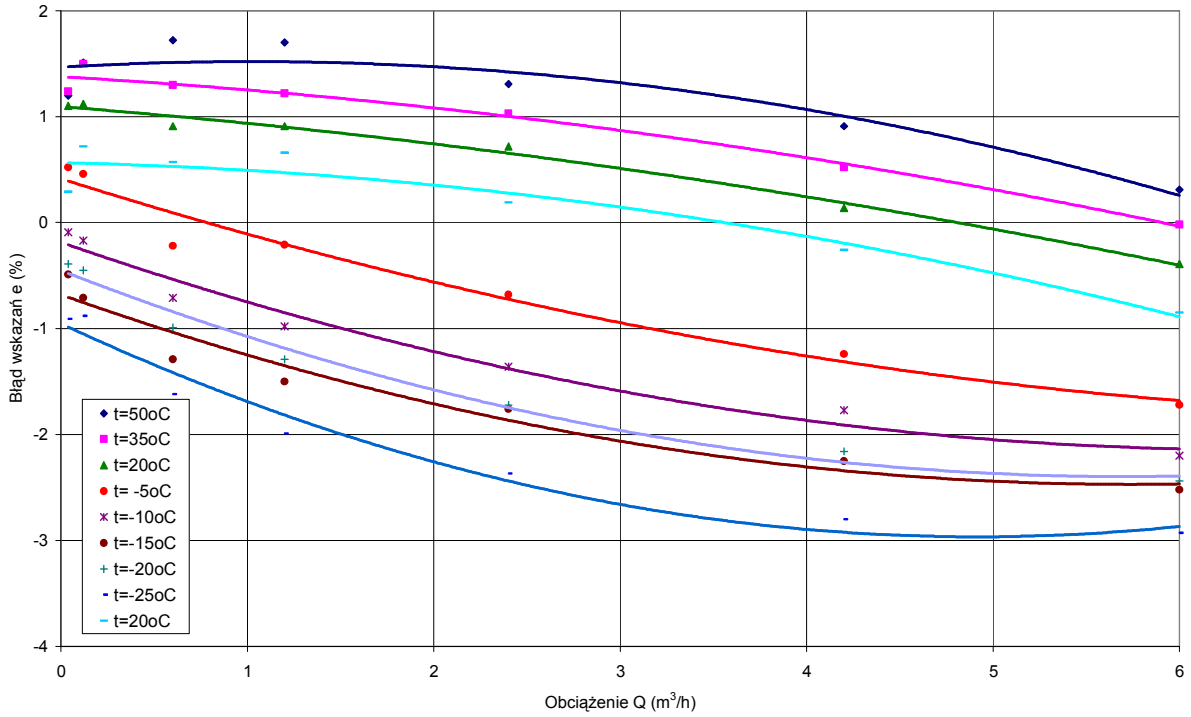
Procedura badań błędu wskazań w deklarowanym przedziale temperatury otoczenia i gazu według PN-EN 1359 **[11]** przewiduje takie badania po zakończeniu badania trwałości. Producenci sprawdzają również błędy wskazań przed próbą trwałości według rozszerzonej procedury dla siedmiu obciążeń Q_{min}, $2Q_{min}$ (lub $3Q_{min}$), $0{,}1Q_{max}$, $0{,}2Q_{max}$, $0{,}4Q_{max}$, $0{,}7Q_{max}$, i Q_{max} w temperaturze t_{min} oraz t_{max} po 22 godzinnej eksploatacji w tych temperaturach. W wyniku eksploatacji trwającej 5000 h przy Q_{max} następuje dotarcie par ciernych, powiększenie luzów i wpływ temperatury na krzywą błędu wskazań jest mniejszy. Można więc oczekiwać większego wpływu temperatury otoczenia i gazu na początkową krzywą błędu wskazań i strat ciśnienia (**rys. 4-9)** niż na te krzywe po odmierzeniu objętości 5000 $h^{*}Q_{max}$.

Gazomierze o dobrej odporności na temperaturę przepływającego medium nie wykazują dużych zmian początkowego błędu wskazań**.** Różnica błędów wskazań dla temperatury otoczenia i gazu -25°C i 20°C przy obciążeniu 6 m^3/h dla gazomierza G4 może wynosić -0,75%. Inne typy gazomierzy wykazują w takich badaniach większe zmiany początkowego błędu wskazań wynoszące -2,5%.

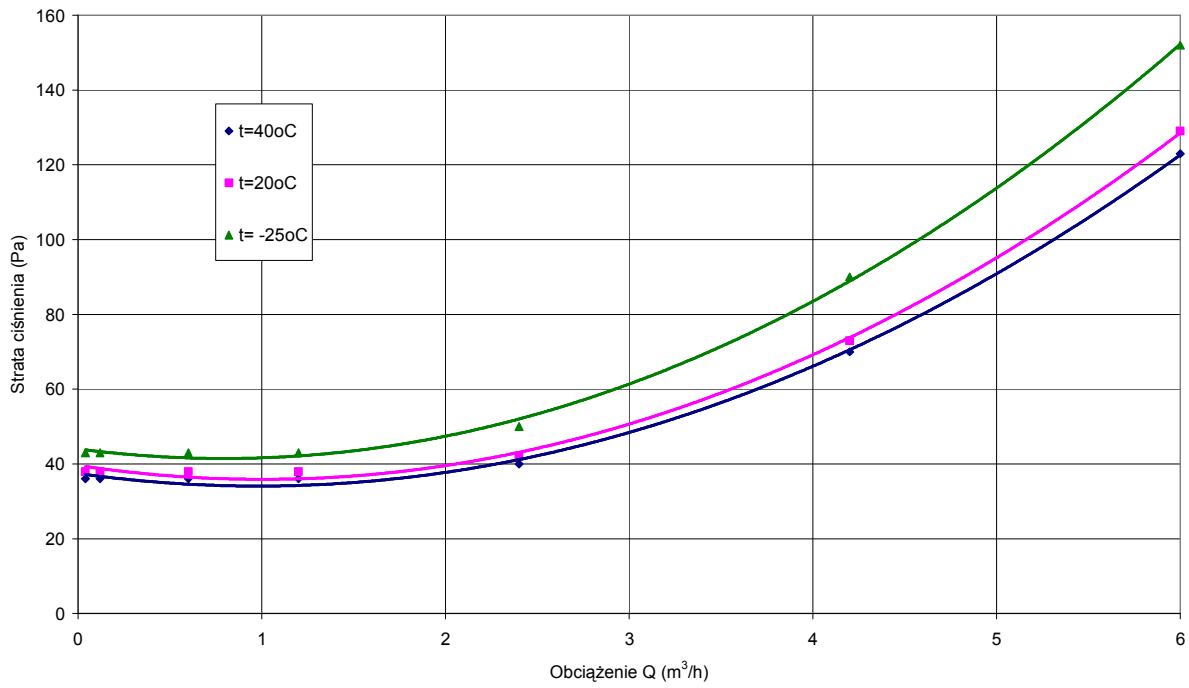
Błąd wskazań gazomierzy w deklarowanym zakresie temperatur otoczenia i gazu powinnien znajdować się w przedziale dopuszczalnych błędów granicznych w próbie trwałości, to jest ±3% dla obciążeń $0{,}1Q_{max}$, $0{,}4Q_{max}$ i Q_{max}. Jeżeli, np. dla gazomierzy G4 błąd wskazań dla Q_{max} wynosi dla najniżej wyregulowanego gazomierza -1,3%**,** to w przypadku zmiany błędu wskazań -1,5% w temperaturze -25°C, jego błąd wskazań po próbie trwałości i w temperaturze -25°C będzie wynosił około -2,8% i nie będzie przekraczał dopuszczalnych błędów granicznych ±3% pod warunkiem, że zmiany błędu po odmierzeniu 30 tys. m^3 nie będą duże (**rys. 10)**.



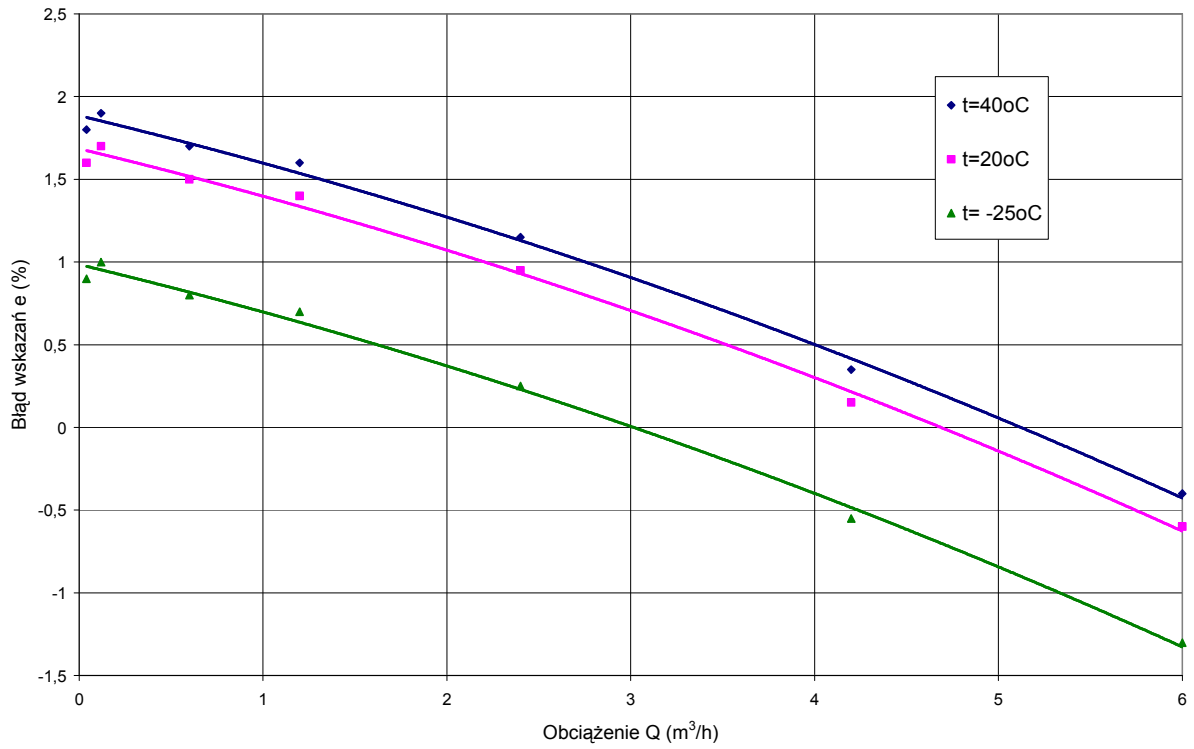
Rys. 4. Typowe pierwotne krzywe straty ciśnienia gazomierzy G4 2002 z komorami wykonanymi z tworzyw sztucznych bez temperaturowego przelicznika objętości *dla temperatur otoczenia i gazu: 50°C, 35°C, 20°C; -5°C; -10°C; -15°C; -20°C, -25°C i 20°C (powtórne sprawdzenie po badaniach).*



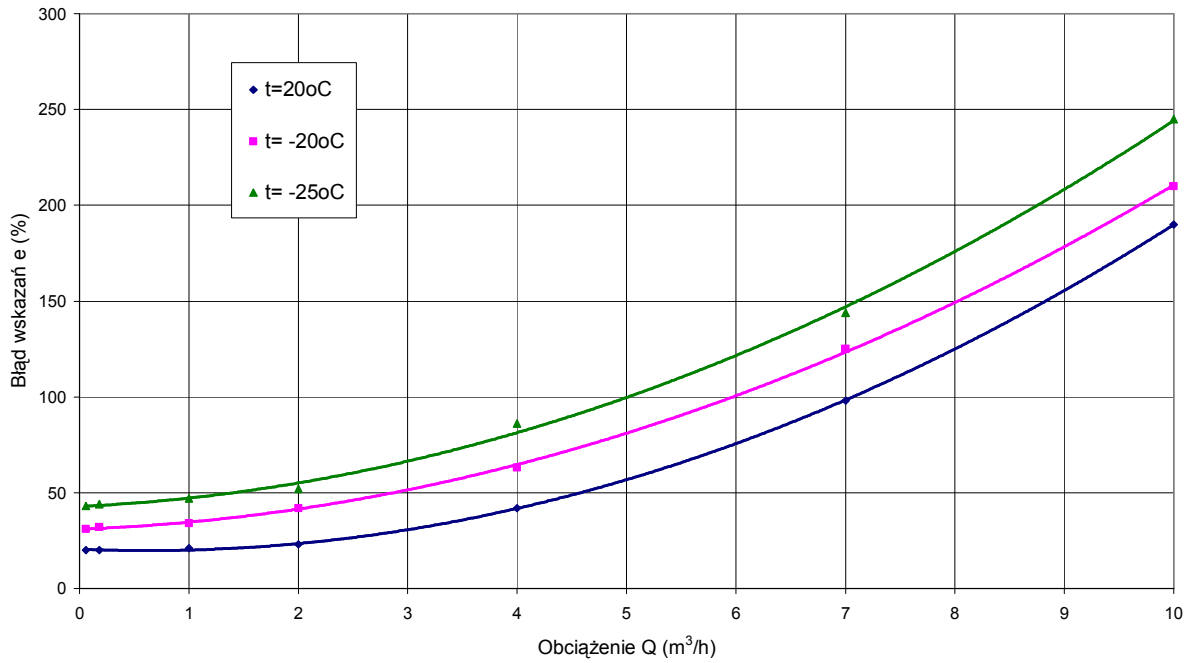
Rys. 5. Typowe pierwotne krzywe błędu wskazań gazomierzy G4 2002 z komorami wykonanymi z tworzyw sztucznych bez temperaturowego przelicznika objętości *dla temperatur otoczenia i gazu: 50°C, 35°C, 20°C; -5°C; -10°C; -15°C; -20°C, -25°C i 20°C (powtórne sprawdzenie po badaniach).*



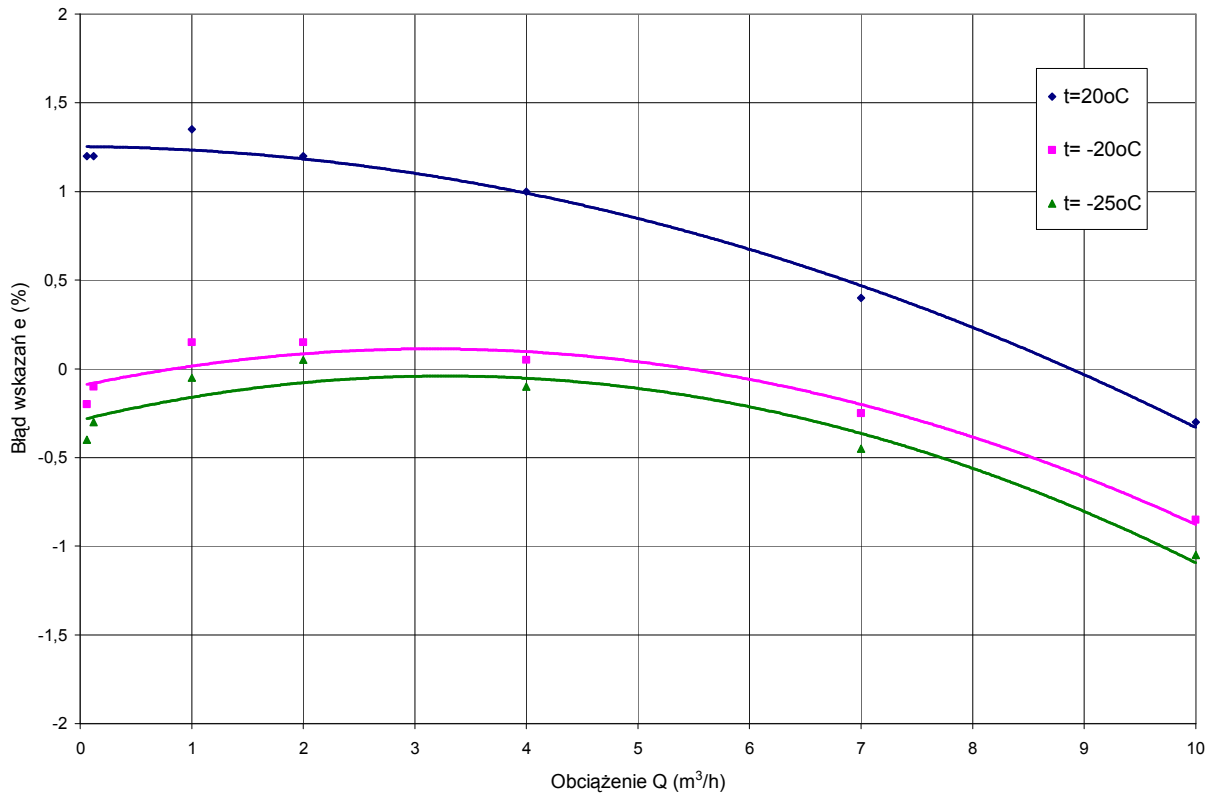
Rys. 6. Typowe pierwotne krzywe straty ciśnienia gazomierzy G4 1998 z blaszanymi komorami bez temperaturowego przelicznika objętości dla temperatur otoczenia i gazu: -25°C; 20°C; 40°C.



Rys. 7. Typowe pierwotne krzywe błędu wskazań gazomierzy G4 1998 z blaszanymi komorami bez temperaturowego przelicznika objętości dla temperatur otoczenia i gazu: -25°C; 20°C; 40°C.



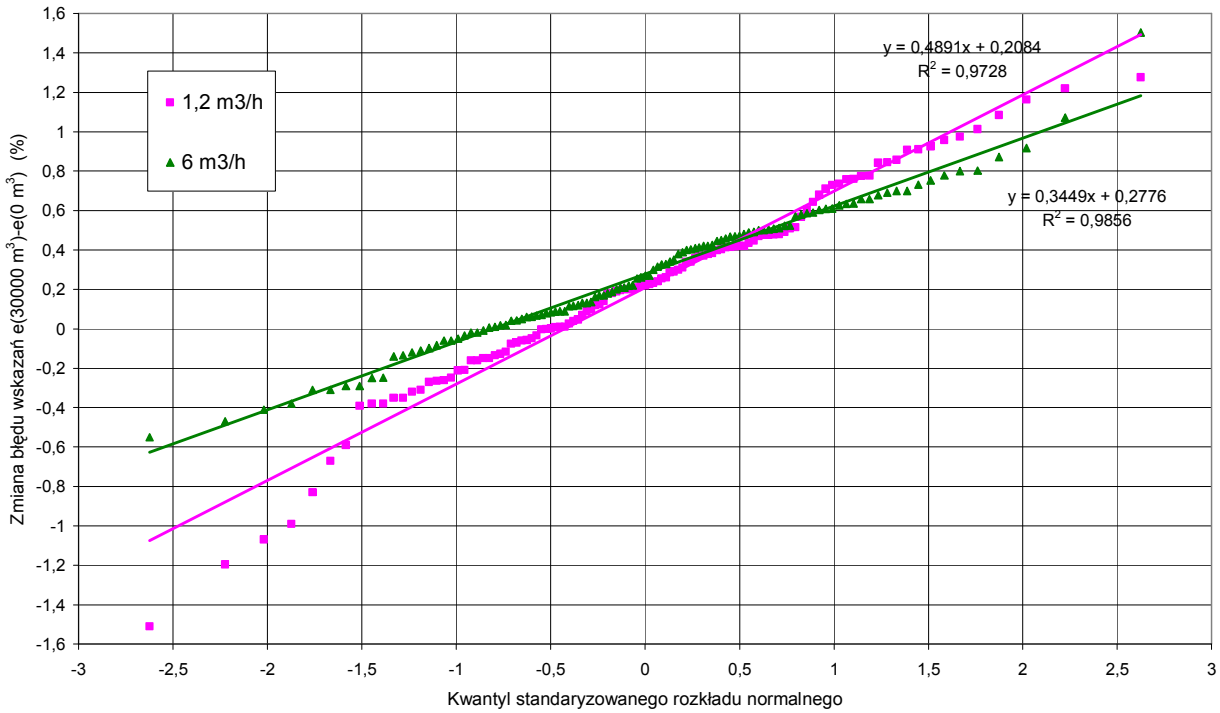
Rys. 8. Typowe pierwotne krzywe strat ciśnienia gazomierzy 5G6 2003 z blaszanymi komorami bez temperaturowego przelicznika objętości dla temperatur otoczenia i gazu: -25°C; -20°C; 20°C.



Rys. 9. Typowe pierwotne krzywe błędu wskazań gazomierzy 5G6 2003 z blaszanymi komorami bez temperaturowego przelicznika objętości dla temperatur otoczenia i gazu: -25°C; -20°C; 20°C.

Na **rys. 10** przedstawiono zmiany błędu wskazań Δe(30 000 m^3) po odmierzeniu objętości 30 tys. m^3 dla obciążenia 1,2 m^3/h i 6 m^3/h w próbce n=115 gazomierzy G4 oraz ich dystrybuanty empiryczne rozkładu normalnego w siatce funkcyjnej dystrybuanty rozkładu normalnego. Obliczone wartości estymatorów parametrów rozkładu normalnego wynoszą:

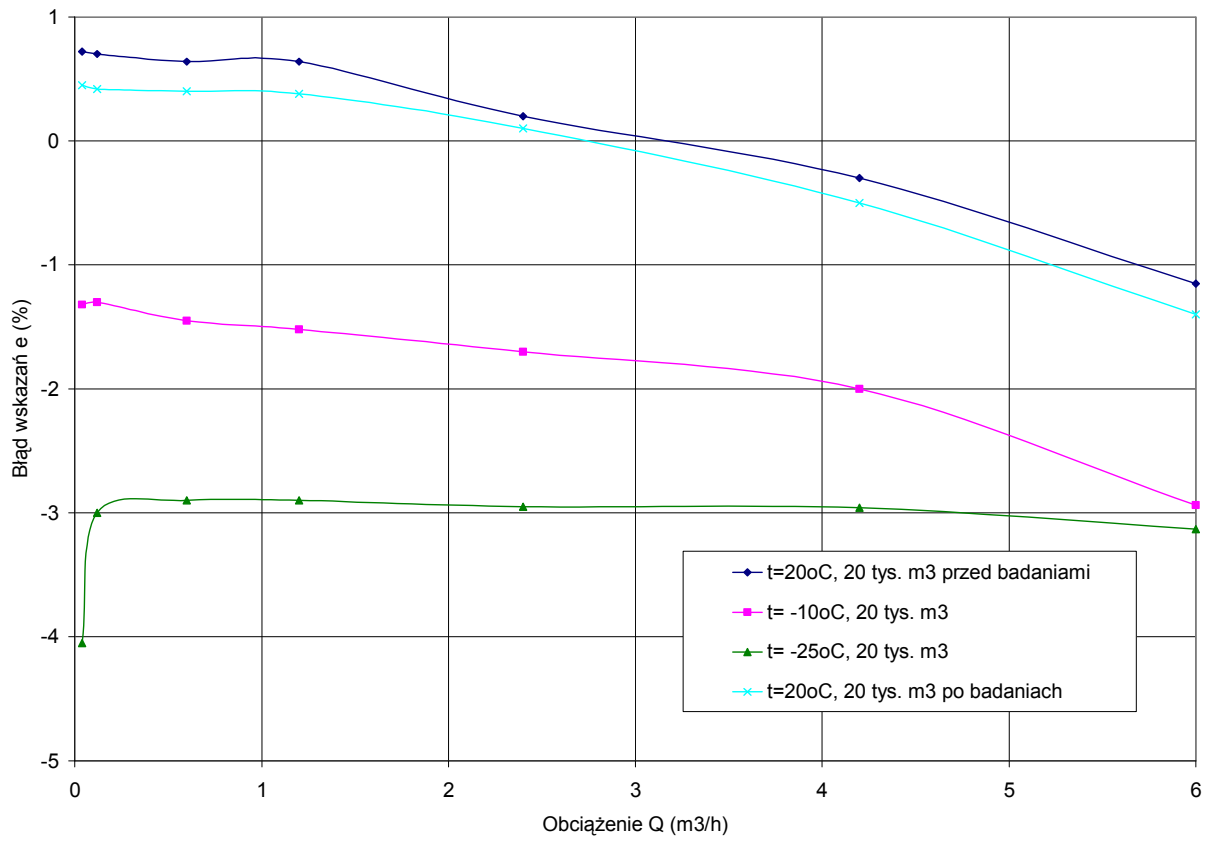
- $\overline{\Delta}e(30000m^3) =$ 0,208% i s=0,495% dla 1,2 m^3/h;
- $\overline{\Delta}e(30000m^3) =$ 0,278% i s=0,347% dla 6 m^3/h.



Rys. 10. Wartości zmian błędu wskazań Δe(30 000 m^3)=e(30 000 m^3)-e(0 m^3) po odmierzeniu objętości 30 tys. m^3: dla obciążenia 1,2 m^3/h $\overline{\Delta}e(30000m^3) =$ *0,208% i s=0,495%, dla obciążenia 6 m^3/h* $\overline{\Delta}e(30000m^3) =$ *0,278% i s=0,347% w próbce n=115 gazomierzy G4 1999-2006 oraz dystrybuanty empiryczne rozkładu normalnego w siatce funkcyjnej dystrybuanty rozkładu normalnego.* $\overline{\Delta}e(30000m^3)$ *- wartość średnia, s - odchylenie standardowe* $\Delta e(30000m^3)$ *w próbce.*

Na **rys. 11** przedstawiono typowe krzywe błędu wskazań gazomierzy G4 2005 bez temperaturowego przelicznika objętości po odmierzeniu około 21 tys. m^3 dla temperatur otoczenia i gazu: 20°C przed badaniami, -25°C; -10°C i 20°C po badaniach wływu temperatury otoczenia i gazu na właściwości metrologiczne gazomierzy miechowych.

PN-EN **[11]** wymaga, aby błąd wskazań gazomierzy w przedziale temperatur od -25°C do 40°C nie przekraczał dopuszczalnych błędów granicznych ±3%. Najczęściej przekroczenie dopuszczalnego błędu granicznego występuje przy Q_{max} w temperaturze -25°C. Najniższe temperatury występują w Polsce zazwyczaj tylko parę godzin nad ranem i jedynie przez kilka dni w roku. Bardzo często gazomierze w tym czasie nie pracują na maksymalnym obciążeniu. Część gazomierzy jest przewymiarowana i nigdy nie będzie pracowała na maksymalnym obciążeniu. Nawet jeżeli gazomierz ma błąd -4% przy temperaturze -25°C, to z podanych powyżej przyczyn, ten błąd nie ma istotnego wpływu na średnioroczny błąd rozliczenia dostaw gazu do odbiorcy. Znacznie ważniejszą sprawą jest, aby gazomierze zainstalowane na zewnątrz budynku spełniały niżej wymienione wymagania.



Rys. 11. Typowe krzywe błędu wskazań gazomierzy G4 2005 bez temperaturowego przelicznika objętości po odmierzeniu 21 tys. m^3 dla temperatur otoczenia i gazu: -25°C; -10°C; 20°C.

W przypadku wystąpienia ekstremalnie niskich temperatur w zimie gazomierze nie powinny się uszkodzić. Absolutne minimum temperatury zanotowano 10.02.1929 r. w Żywcu i wynosiło ono -40,6°C oraz w Białowieży 12.01.1950 r. -38,76°C. Uszkodzenie dużej partii gazomierzy w przypadku wystąpienia ekstremalnie niskich temperatur może być związane z koniecznością ich szybkiej wymiany i dużymi kosztami.

Praca gazomierzy w przedziale temperatur od -25°C do 40°C nie powinna spowodować trwałych zmian ich właściwości metrologicznych, w szczególności przesunięcia krzywej błędów wskazań w kierunku ujemnych wartości błędów wskazań. Gazomierze z dużym ujemnym błędem wskazań będą powodować istotne zaniżenie w przychodach Spółek Obrotu Gazem aż do wycofania ich z eksploatacji po 15 latach ważności dowodu legalizacji.

Nie zaleca się instalowania nowych gazomierzy w okresie zimy. Wskazane jest, aby gazomierze pracowały 2-3 miesiące, zanim zaczną odmierzać gaz w ujemnych temperaturach. Dotarcie par ciernych zwiększa luzy i tym samym różnice we współczynnikach rozszerzalności liniowej materiałów par ciernych nie wpływają mocno na wzrost straty ciśnienia.

Dostawcy gazu deklarują temperaturę punktu rosy gazu ziemnego -10°C w okresie od 1 października do 31 marca oraz 5°C w okresie od 1 kwietnia do 30 września. Można więc spodziewać się skraplania pary wodnej i szronienia wewnątrz gazomierzy, gdy temperatura spadnie poniżej -10°C. Również w okresie wiosennym aż do 15 maja w Polsce występują przymrozki nad ranem do -5°C, które przekraczają temperaturę punktu rosy gazu.

Dla temperatury otoczenia i gazu niższej od temperatury punktu rosy rozpocznie się wykraplanie i szronienie wewnątrz gazomierza. Każde 22 ml wody wykroplonej wewnątrz komór gazomierza G4 o objętości cyklicznej 2,2 dm^3 zwiększy błąd wskazań 1% a - wewnątrz

komór gazomierza G4 o objętości cyklicznej 1,2 dm^3 zwiększy błąd wskazań o 1,83%. Obecność wody w komorach gazomierzy stwierdzono podczas ekspertyz metrologicznych wykonywanych na zlecenie Spółek Gazownictwa. Ta woda po wzroście temperatury otoczenia i gazu odparowuje a błąd wskazań wraca do pierwotnych wartości.

W przypadku możliwości wystąpienia szronienia nie należy instalować w takich miejscach gazomierzy, które posiadają wewnątrz obudowy przekładnie zębate. Mogą one wykazywać duży wzrost straty ciśnienia i zmianę błędu wskazań wskutek kleszczenia par kół zębatych a w następstwie trwałe pogorszenie właściwości metrologicznych i zmniejszenie przychodów Spółek Gazownictwa.

Wnioski

Jeżeli producent nie podaje wyników badań stabilności metrologicznej, to należy przyjąć zasadę, że im większa objętość cykliczna gazomierza tym większa jego stabilność metrologiczna. W takim przypadku przy wyborze gazomierza do opomiarowania gospodarstw domowych wyposażonych w kotły gazowe należy stosować gazomierze o większej objętości cyklicznej.

Gazomierze instalowane na zewnątrz budynku powinny być odporne na wystąpienie ekstremalnie niskich temperatur w zimie. Gazomierze takie nie tylko powinny poprawnie pracować w zakresie temperatur od -25°C do 40°C, ale w przypadku wystąpienia ekstremalnie niskich temperaturach nie mogą się uszkodzić. Uszkodzenie dużej partii gazomierzy w przypadku wystąpienia ekstremalnie niskich temperatur może być związane z koniecznością ich szybkiej wymiany i dużymi kosztami.

Praca gazomierzy w przedziale temperatur od -25°C do 55°C nie powinna spowodować trwałych zmian ich właściwości metrologicznych, w szczególności przesunięcia krzywej błędu wskazań w kierunku ujemnych wartości błędów wskazań. Należy więc wybierać do opomiarowania takie gazomierze, które nie będą powodować istotnego zaniżenie w przychodach Spółek Obrotu Gazem aż do wycofania ich z eksploatacji po 15 latach ważności dowodu legalizacji.

W przypadku wystąpienia szronienia należy unikać instalowania w takich miejscach gazomierzy, które posiadają wewnątrz obudowy przekładnie zębate. Mogą one wykazywać duży wzrost straty ciśnienia i zmianę błędu wskazań wskutek kleszczenia par kół zębatych a w następstwie trwałe pogorszenie właściwości metrologicznych i zmniejszenie przychodów dostawcy gazu.

Rozliczenia między dostawcą gazu a odbiorcą powinny odbywać się w normalnych metrach sześciennych. Takie warunki rozliczenia przyjęto w taryfach za gaz w Polsce. Rzeczywiste warunki pomiaru gazu odbiegają od warunków normalnych. Dlatego rozliczenie dostaw gazu ziemnego obarczone jest dodatkowymi błędami niezależnymi od użytego do rozliczeń gazomierza miechowego. Te dodatkowe błędy to błędy odmierzania objętości w temperaturze innej niż normalna (0°C) i przy ciśnieniu innym niż normalna (101325 Pa) **[12-14].**

Piśmiennictwo

[1] Dopke J.: Kryteria doboru gazomierzy miechowych do odbiorników gazu. INSTAL 2002 nr 4.

[2] Dopke J.: Ocena poprawności opomiarowania zużycia gazu w gospodarstwach domowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1997 (LXXI) nr 11.

[3] Dopke J.: Mieszkaniowe odbiorniki gazu ziemnego obecne na polskim rynku i ich opomiarowanie. DOMUS 2003 nr 7-8.

[4] Dopke J.: Przeliczanie charakterystyk metrologicznych gazomierzy miechowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1998 (LXXII) nr 10.
[5] Dopke J.: Analiza dokładności rozliczeń gazomierzami miechowymi. Nowoczesne Gazownictwo 2004 (IX) nr 4.
[6] Dopke J.: Wymagania prawno-eksploatacyjne dotyczące przemysłowych gazomierzy miechowych. Nowoczesne Gazownictwo 1999 (IV) nr 1.
[7] Dopke J.: Prognozowanie zużycia gazu ziemnego. Wiadomości Naftowe i Gazownicze 2007 (108) nr 4.
[8] Dopke J.: Stabilność błędu wskazań gazomierzy miechowych w użytkowaniu. Wiadomości Naftowe i Gazownicze 2008 (117) nr 1.
[9] Dopke J.: Niezawodność gazomierzy miechowych. Problemy Jakości 2007 (XXXiX) nr 4.
[10] Dopke J.: Zależność zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych od liczby stopniodni grzania. GWiTS 2007 (LXXXI) nr 3.
[11] PN-EN 1359:2004/A1:2006 Gazomierze. Gazomierze miechowe
[12] Dopke J.: Dokładność rozliczania dostaw gazu w realnych warunkach opomiarowania. GWiTS 2006 (LXXX) nr 2.
[13] Dopke J.: Dokładność rozliczania dostaw gazu w realnych warunkach opomiarowania. Rynek Instalacyjny 2007 (XV) nr 1/2 .
[14] Dopke J.: Dokładność rozliczania dostaw gazu gazomierzami miechowymi w realnych warunkach opomiarowania. Rynek Energii 2007 (68) nr 1.

Mgr inż. Józef Dopke
Kierownik Laboratorium Zakładowego, APATOR METRIX S. A.
83-100Tczew, ul. Piaskowa 3, jozefdopke@wp.pl