



# Wyznaczanie współczynnika tarcia pomiędzy uszczelką a przylgą.

---

## Zależności funkcyjne parametrów uszczerek - projekt

# Laboratorium Badań Materiałów Uszczelnieniowych



Działa od roku 1996. Posiada:

- wdrożony system jakości oparty o normę PN-EN ISO/IEC 17025:2005
- świadectwo uznania laboratorium Urzędu Dozoru Technicznego
- świadectwo uznania laboratorium TÜV Rheinland



Czym się zajmujemy?



## EN 13555

- $Q_{Smax}$
- EG
- $\Delta E_{Gci}$  (PQR)
- $\mu G$
- $Q_{min(L)}$ ,  $Q_{smin(L)}$



EN 1591-1



## VDI 2240

- Certyfikacja uszczelki na zgodność z przepisami TA-Luft; VDI 2440



## ASTM F3149-15

- m
- y



ASME Code  
Div 1 sec. VIII



## EN 61340-2-3

Pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej

I dalej czym się zajmujemy.



## VDI 2440

- wyznaczanie klasy szczelności
- wyznaczanie siły na trzpieniu



## ASTM F36

- ściśliwość
- powrót elastyczny

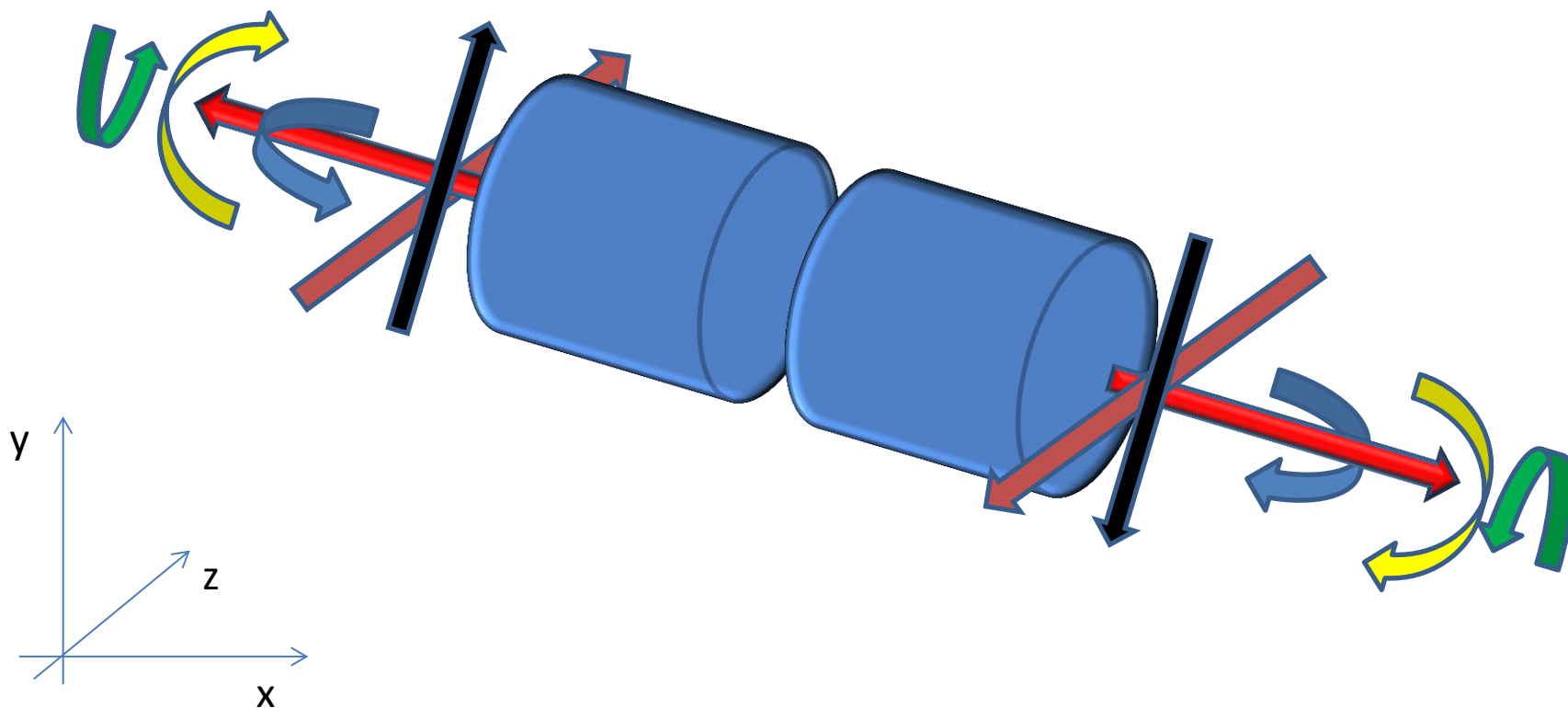


## ASTM F38

- relaksacja i pełzanie

# Ogólny układ sił i momentów zewnętrznych działających na połączenie kołnierzowe

(rysunek poglądowy uproszczony)



# Minimalna wymagana siła zacisku

## W każdym ze stanów ruchu



$$F_{GImin} = \max \left\{ A_{Ge} \cdot Q_{smin(L),I}; -(F_{QI} + F_{RI}); \frac{F_{LI}}{\mu_G} + \frac{2 \cdot M_{TGI}}{\mu_G \cdot d_{Gt}} - \frac{2 \cdot M_{AI}}{d_{Gt}} \right\}$$

$A_{Ge} \cdot Q_{smin(L),I}$  minimalna siła ze względu na zachowanie szczelności

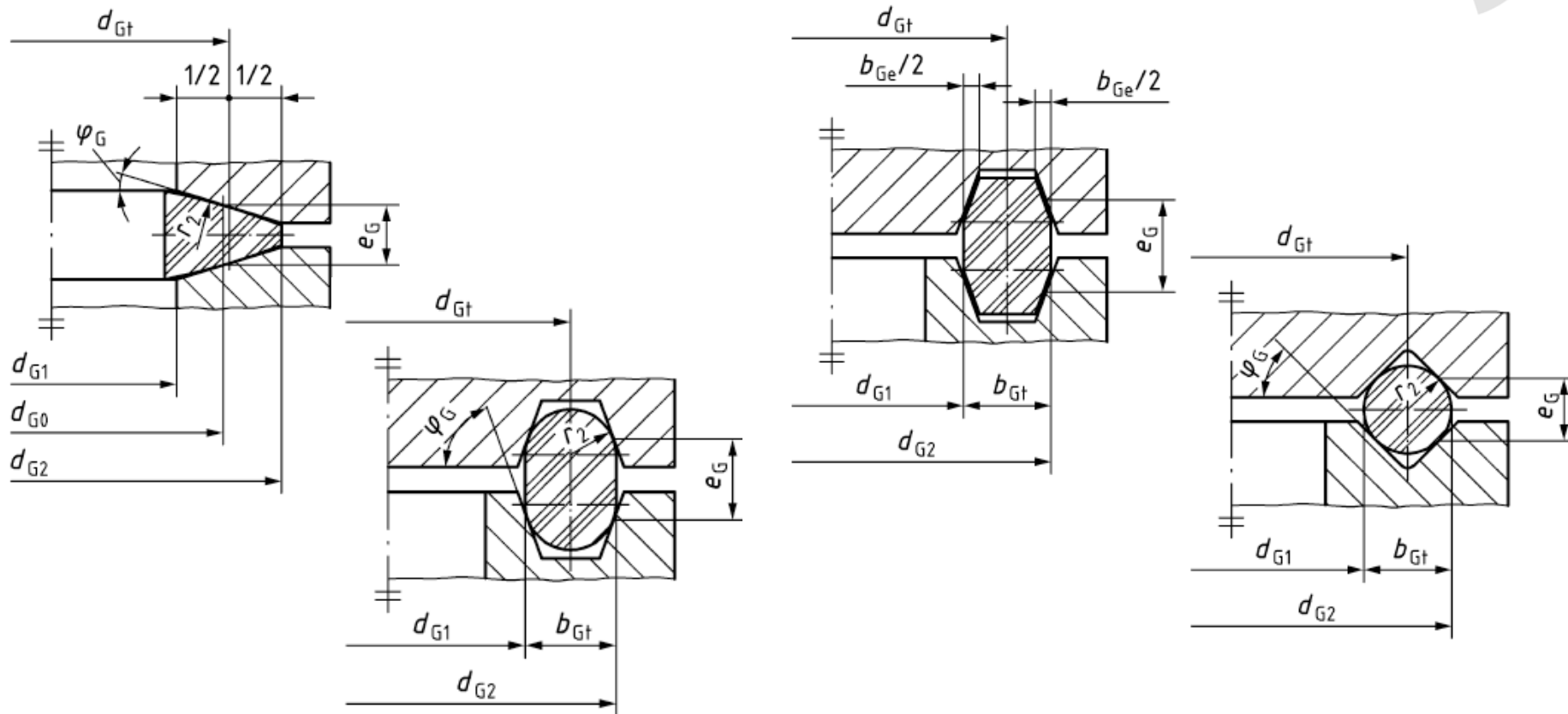
$-(F_{QI} + F_{RI})$  siły zapewniające utrzymanie odpowiednich naprężeń kontaktowych ze względu na działające ciśnienie i osiowe obciążenia zewnętrzne

$\frac{F_{LI}}{\mu_G} + \frac{2 \cdot M_{TGI}}{\mu_G \cdot d_{Gt}} - \frac{2 \cdot M_{AI}}{d_{Gt}}$  siły zapewniające utrzymanie odpowiednich naprężeń kontaktowych ze względu na działanie zewnętrznych sił i momentów promieniowych. Uwzględniono współczynnik tarcia uszczelka / przyłga.

# Uszczelki „pomijane” w rozważaniach



W zacytowanym wzorze człon trzeci pomija się dla następujących typów uszczelki:



Jeśli wymóg zachowania jakiejś klasy szczelności nie jest konieczny, wielkość  $Q_{smin(L)}$  jest zastępowana wielkościami:  $m * |P_1|$

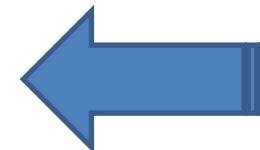
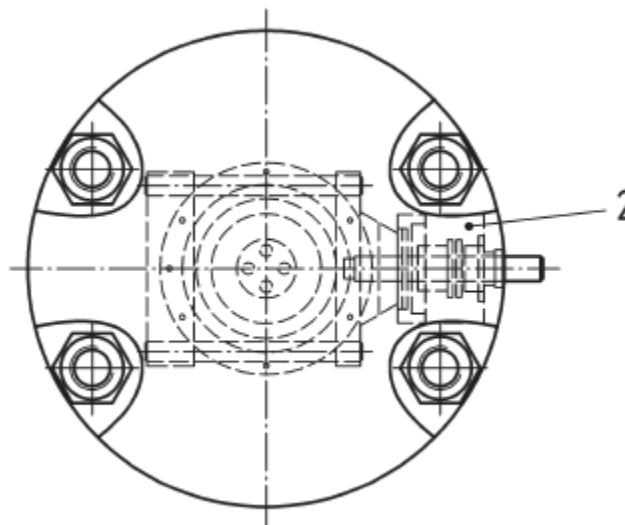
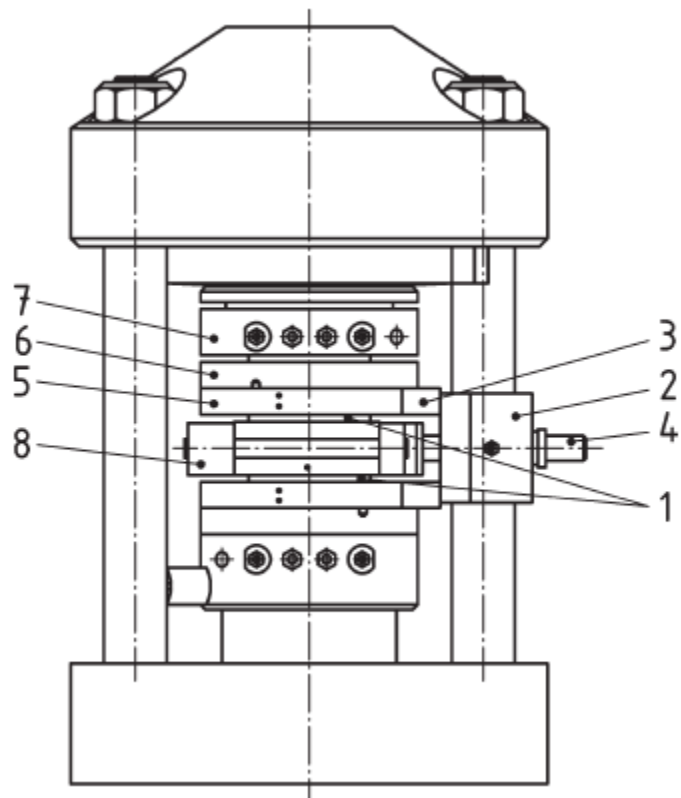
# Jakie znaczenie ma współczynnik $\mu_G$ ?



Znajomość wartości współczynnika tarcia  $\mu_G$  jest niezbędna dla określenia siły zacisku (w konsekwencji naprężenia kontaktowego na uszczelce) zdolnej do **przeciwstawienia się działaniu zewnętrznych sił ścinających i momentów skręcających działających na połączenie kołnierzowe.**

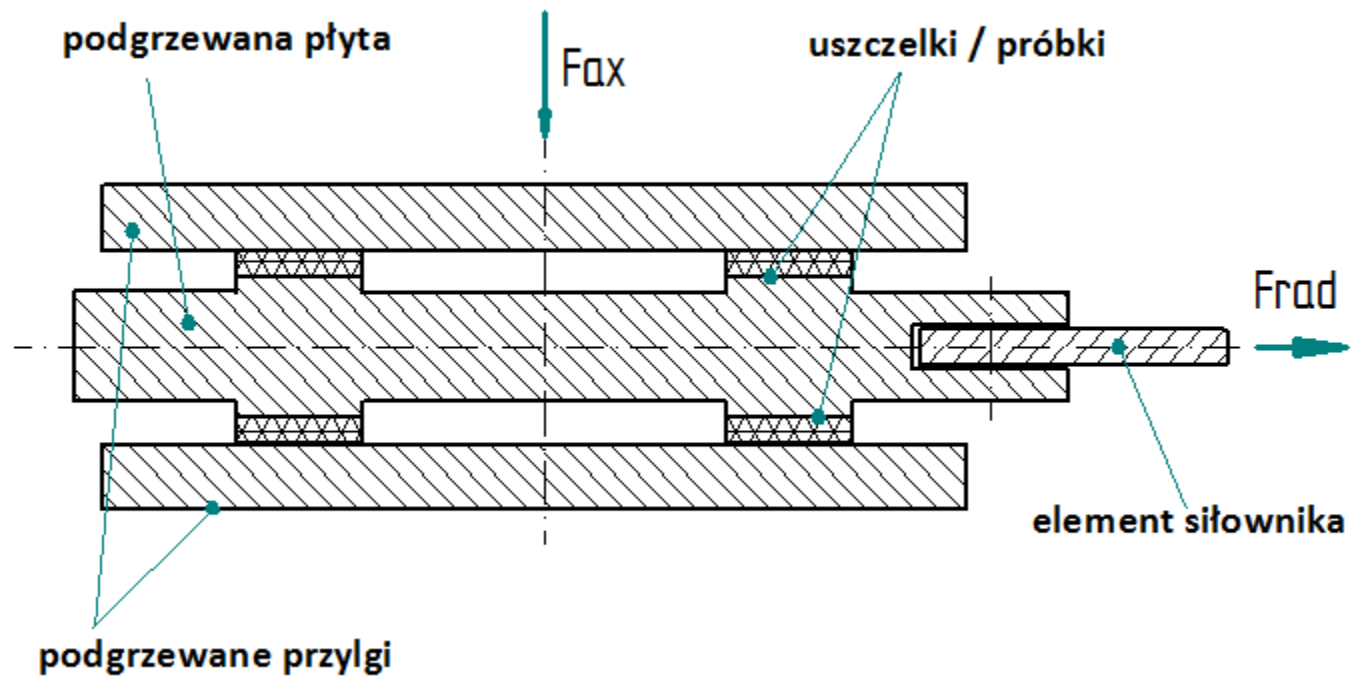
Stanowisko wykorzystywane do wyznaczania współczynnika tarcia składa się z głównego siłownika hydraulicznego, płyt grzewczych i płyt chłodzących oraz płyty środkowej wyciąganej promieniowo z układu przez dodatkowy siłownik. Na tej płycie, umieszczonej pomiędzy płytami grzewczymi, umieszczone są z jej obu stron badane uszczelki. Po podaniu, za pomocą siłownika głównego, odpowiedniego naprężenia kontaktowego, nagrzaniu układu i wytrzymaniu w tych warunkach przez określony czas następuje próba wyszarpięcia płyty środkowej pomiędzy uszczelkami czy płyt grzejnych.





EN 13555:2014

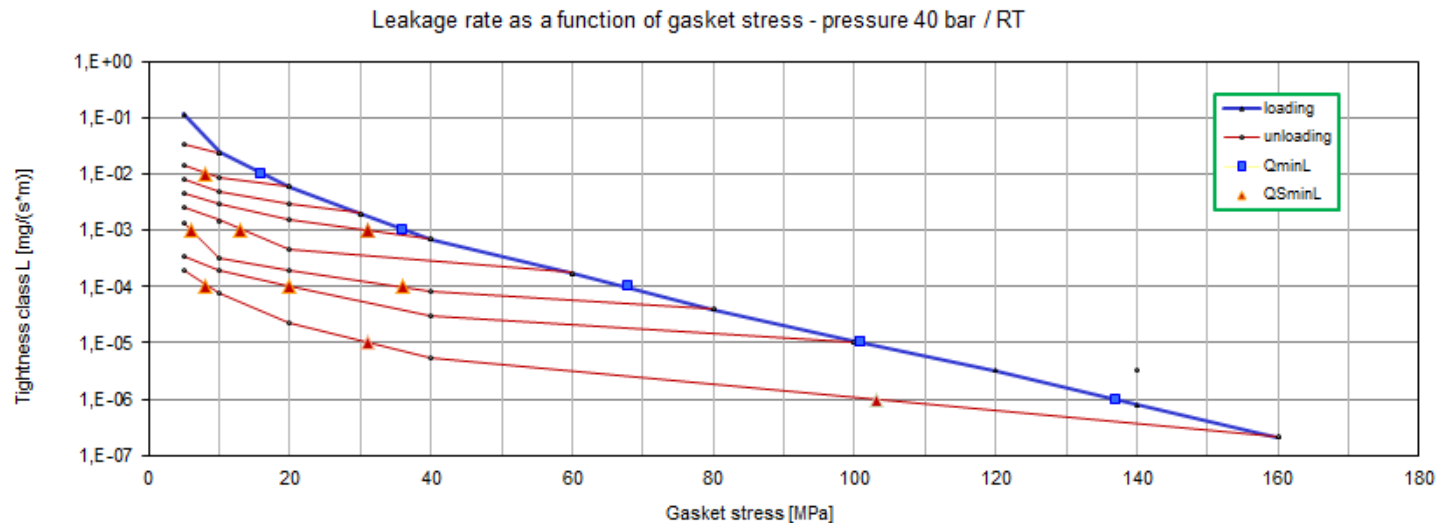
- 1 – próbka
- 2 – siłownik hydrauliczny
- 3 – uchwyt
- 4 – pręt wyciągający
- 5 – płyta testowa (przyłga)
- 6 – płyta grzewcza
- 7 – płyta chłodząca
- 8 – płyta środkowa podgrzewana



# EN 13555:2014. Procedura wyznaczania $\mu_G$ .



- Przyłożenie naprężenia początkowego (zazwyczaj 5-20 MPa)



- Podniesienie temperatury do odpowiedniej wartości ze względu na typ uszczelki i założenia badania
- Utrzymanie naprężenia i temperatury przez 4 godziny
- Zredukowanie naprężenia kontaktowego do wartości  $Q_{smin(L)}$  (wartość charakterystyczna dla danej uszczelki)
- Wytworzenie na siłowniku hydraulicznym siły poprzecznej środkowej części stanowiska („uszczelki”), która spowoduje jej przesunięcie. Zanotowanie jej wartości.
- Wyznaczenie statycznego współczynnika tarcia:

$$\mu_G = \frac{F_{poprzeczna}}{2 \cdot F_{osiowa}}$$

# Symulacja wpływu obciążeń zewnętrznych na siłę zacisku uszczelki.



condition	pressure [MPa]	$Q_{Gmin(L)}$ [MPa]	$\mu_G$	$F_{Gmin}$ [kN]	part 1 / part 2 / part 3	part of (104) formula
work 1	2,0	10	0,05 (PTFE)	1629,64	408,78 / -275,3 / 1629,64	third
			0,1 (Graphite)	778,53	408,78 / - 275,3 / 778,53	third
			0,25 (Fibre)	408,78	408,78 / - 275,3 / 267,87	first
			0,15 (Metallic)	494,83	408,78 / - 275,3 / 494,83	third
			0,5 (For test 1)	408,78	408,78 / - 275,3 / 21,78	first
			0,9 (For test 2)	408,78	408,78 / - 275,3 / 21,99	first
			2,0 (nonsense)	408,78	408,78 / - 275,3 / -30,02	first
		20	0,05 (PTFE)	1629,64	817,56 / - 275,3 / 1629,64	third
			0,1 (Graphite)	817,56	817,56 / - 275,3 / 778,53	first
			0,25 (Fibre)	817,56	817,56 / - 275,3 / 267,87	first
			0,15 (Metallic)	817,56	817,56 / - 275,3 / 494,83	first
			0,5 (For test 1)	817,56	817,56 / - 275,3 / 97,65	first
			0,9 (For test 2)	817,56	817,56 / - 275,3 / 21,99	first
			2,0 (nonsense)	817,56	817,56 / - 275,3 / -30,02	first
60	0,05 (PTFE)	2452,68	2452,68 / - 275,3 / 1629,64	first		
	0,1	2452,68	2452,68 / - 131,37 / 778,53	first		

# Skąd brać dane do obliczeń.



## Współczynnik tarcia.

1. Od producentów uszczelek. Niestety prowadzone badania są w fazach testów i wartości współczynników nie są publikowane.

lub

2. Z normy EN 1591-1:2014-04 Annex E.

Rodzaj uszczelki	$\mu_G$
Uszczelki na bazie PTFE	0,05
Uszczelki na bazie grafitu	0,1
Elastomerowe / na bazie włókien i elastomeru	0,25
Uszczelki metalowe	0,15

Podane w normie wartości są mocno konserwatywne. Należy, kiedy tylko zaczną być publikowane, użyć do obliczeń wartości podawanych przez producenta uszczelki.

Powyższe wartości zostały określone bez uwzględnienia faktu, że różnić się one będą nie tylko dla różnych uszczelek, ale również dla różnych wartości chropowatości powierzchni przylgowych.

# Skąd brać dane do obliczeń. ESA zaakceptowane wartości.



**Generic Friction Factors  $\mu$  for EN1591-1 calculations**

Material Group	Gasket style	Generic friction factor $\mu$	Notes
Flexible Graphite	Flexible graphite cut flat gaskets without inner eyelet and flexible graphite full faced corrugated gaskets	0.22	Adhesive bonded material might show lower values depending on adhesive used and depending on temperature, as gasket might slide within the material when adhesive is liquid at a certain temperature range.
Compressed fibre	Compressed fibre gaskets without inner eyelet	0.3	
PTFE	Structured PTFE gaskets	0.23	Fillers tested: <ul style="list-style-type: none"> <li>• silica</li> <li>• glass microspheres</li> <li>• barium sulphate</li> </ul>
	Expanded PTFE gaskets	0.26	

# Skąd brać dane do obliczeń. ESA zaakceptowane wartości.



	Virgin PTFE gasket	(0.14)*	Single gasket style tested
Phyllosilicate	Phyllosilicates gasket (mica, vermiculite, steatite)	(0.39)*	Single gasket style tested
Kammprofile	Kammprofile gasket with ePTFE surfaces	(0.27)*	Single gasket style tested
	Kammprofile gasket with virgin PTFE surfaces	(0.07)*	Single gasket style tested
	Kammprofile gasket with flexible graphite surfaces	(0.15)*	Single gasket style tested
Spiral Wound	Spiral wound gaskets with virgin PTFE filler with or without inner ring	(0.09 ... 0.22)*	Values appear to be manufacturer specific. Construction and manufacturing tolerances seem to have a high influence on friction factor.
	Spiral wound gaskets with flexible graphite filler with or without inner ring	(0.12 ... 0.22)*	Values appear to be manufacturer specific. Construction and manufacturing tolerances seem to have a high influence on friction factor.

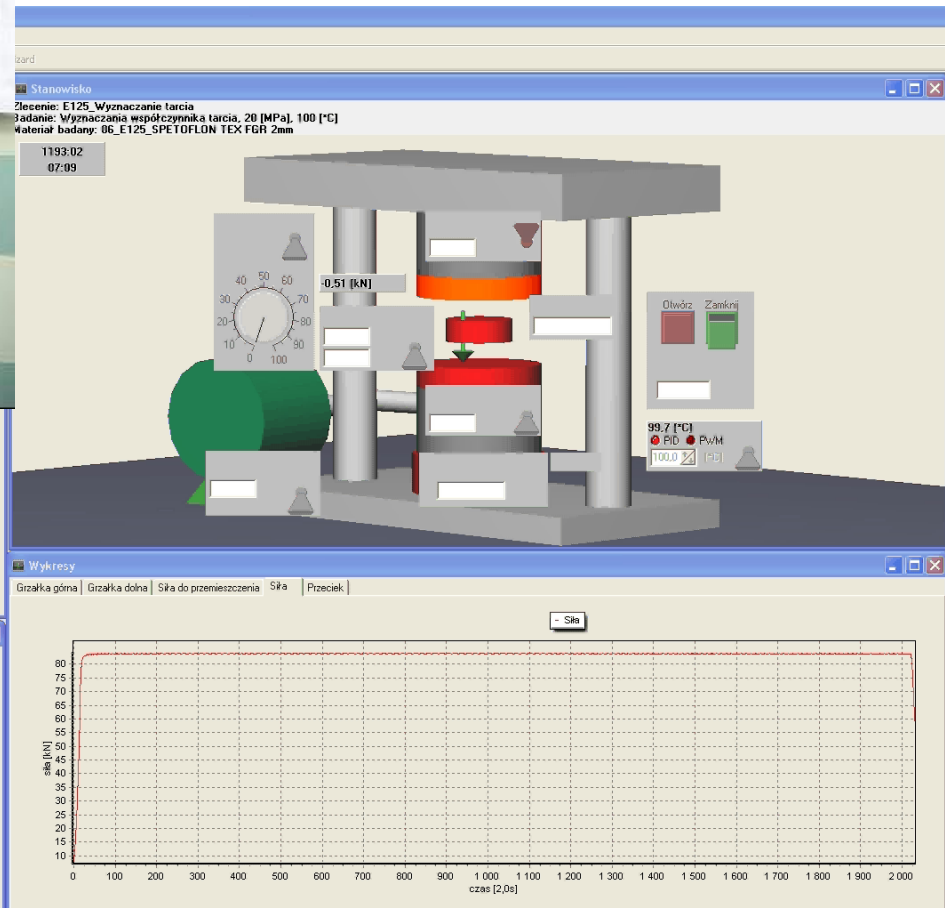
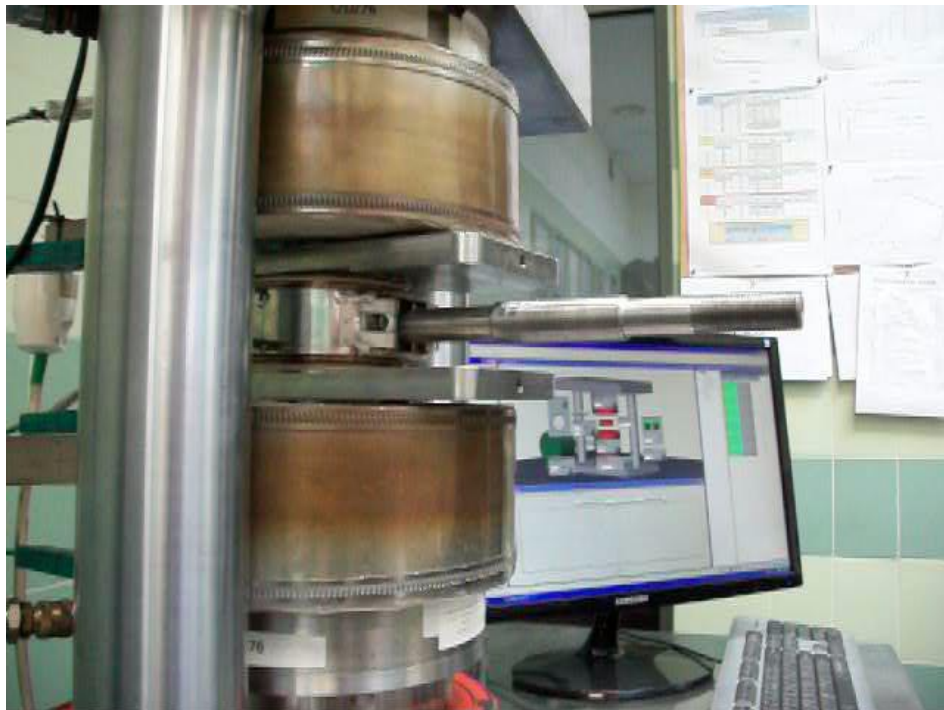
Footnote (\*): Values in brackets are not statistically verified

# LBMU – stanowisko badawcze.

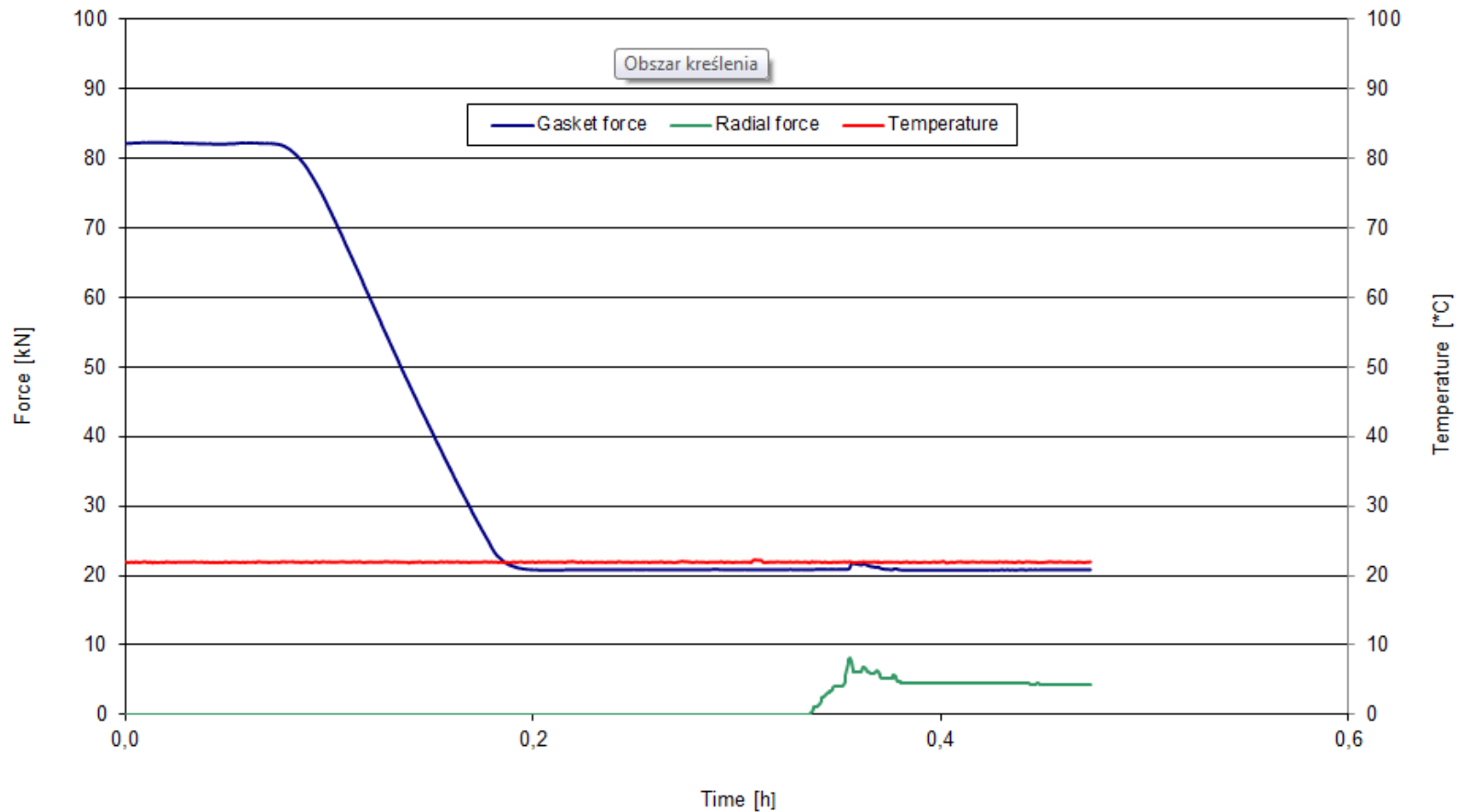




# Współczynnik tarcia – przebieg badania.



Course of test determination of the coefficient of static friction  $\mu_G$   
Test no.



# LBMU – wyznaczone wartości współczynnika tarcia.



materiał	wartość $\mu_G$	temperatura oC	naprężenia MPa
SPETOFLON® FL 160 3 mm	0,19	RT	20/5
SPETOFLON® TEX FGR 3 mm	0,18	100	20/5
SPETOBAR® BAS® 300 2 mm	0,45	RT	20/5
SPETOBAR® BAS® 380 2 mm	0,26	100	20/5
SPETOBAR® BAS® 340I 2 mm	0,32	150	20/5
SPETOBAR® BAS® 340I 2 mm	0,35	150	20/5
SPETOGRAF® GUS® 30 2 mm	0,12	RT	20/5
SPETOGRAF® GUS® 31 2 mm	0,18	RT	20/5
SPETOSPIR® SWZ 316L FGC 4,5 mm	0,18	300	50/20
SPETOSPIR® SWZ 316L PTFE 4,5 mm	0,09	230	50/20

# LBMU – publikacja wartości współczynników tarcia.



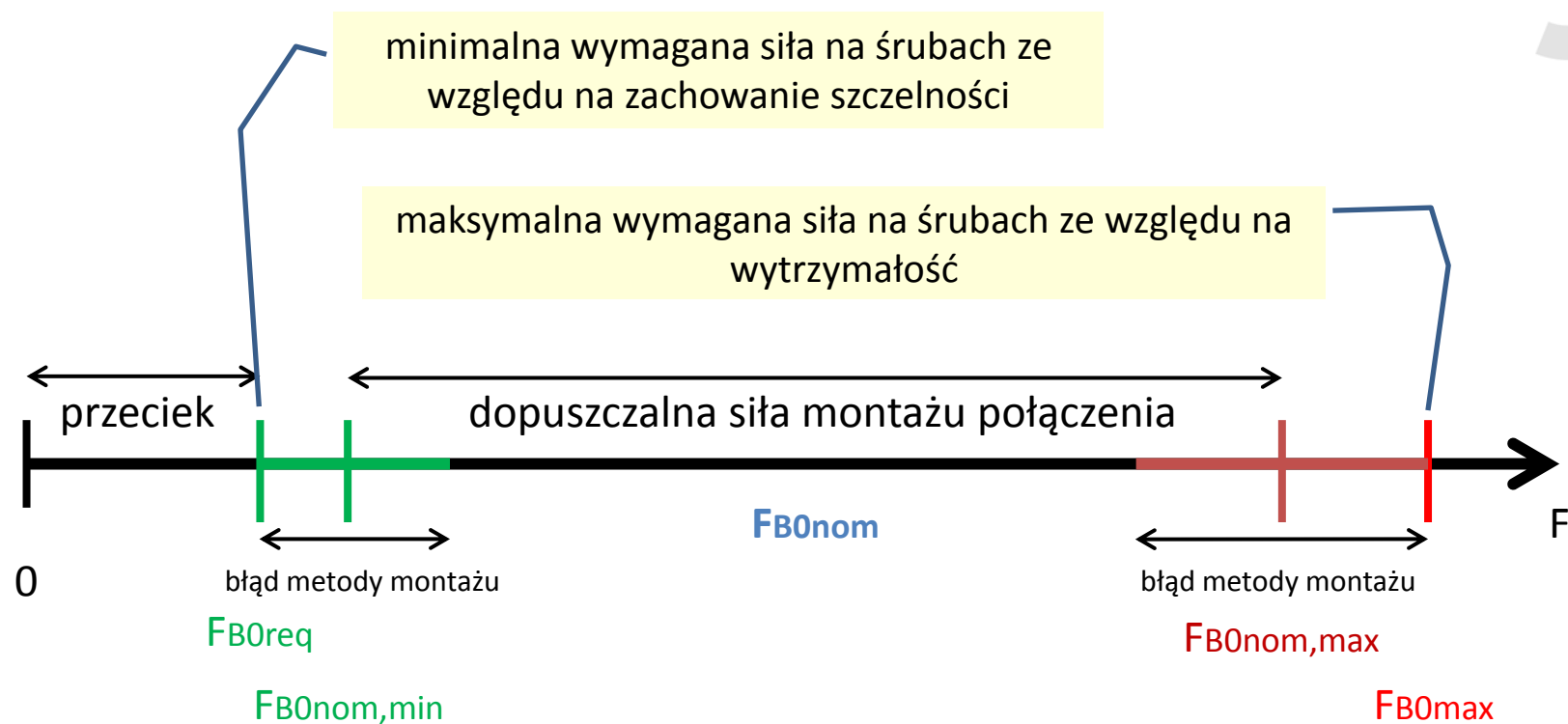
Parameters at RT						
Gasket stress [MPa]	Unloading modulus of elasticity	Gasket or sealing element thickness	Creep relaxation factor	Gasket thickness change due to creep	Maximum surface pressure $Q_{cmax}$	Static friction factor $\mu_0$
	EG	$e_G$	$P_{QR}$	$\Delta e_{G_0}$		
	[MPa]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[-]
1		1,924			200	0,10
20	433	1,300				
30	814	1,200	0,97	0,008		
40	1066	1,149				
50	1077	1,107	0,99	0,004		
60	1645	1,081				
80	2628	1,046				
100	2375	1,013				
120	4666	0,996				
140	4919	0,977				
160	7545	0,969				
180	11339	0,959				
200	9901	0,945	1,00	0,000		

Parameters at 150°C						
Gasket stress [MPa]	Unloading modulus of elasticity	Gasket or sealing element thickness	Creep relaxation factor	Gasket thickness change due to creep	Maximum surface pressure $Q_{cmax}$	Static friction factor $\mu_0$
	EG	$e_G$	$P_{QR}$	$\Delta e_{G_0}$		
	[MPa]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[-]
1		1,920			200	0,10
20	569	1,280				
30	1030	1,181	0,94	0,015		
40	1086	1,134				
50	1289	1,099	0,97	0,013		
60	1366	1,070				
80	3210	1,038				
100	2859	1,010				
120	3119	0,988				
140	4768	0,970				
160	6044	0,959				
180	8752	0,947				
200	7804	0,934	0,99	0,017		

Parameters at 300°C						
Gasket stress [MPa]	Unloading modulus of elasticity	Gasket or sealing element thickness	Creep relaxation factor	Gasket thickness change due to creep	Maximum surface pressure $Q_{cmax}$	Static friction factor $\mu_0$
	EG	$e_G$	$P_{QR}$	$\Delta e_{G_0}$		
	[MPa]	[mm]	[-]	[mm]	[MPa]	[-]
1		1,933			160	0,10
20	547	1,279				
30	1032	1,220	0,89	0,028		
40	1170	1,172				
50	1339	1,134	0,95	0,021		
60	1550	1,107				
80	3184	1,074				
100	2984	1,046				
120	3266	1,024				
140	4307	1,006				
160	5493	0,990	0,99	0,017		



Użycie metody obliczeniowej EN 1591-1:2013 zapewnia bezpieczną pracę połączenia w każdym z projektowanych scenariuszy ruchu zachowując w tych stanach założoną klasę szczelności !

Użyteczny zakres oznacza, że każda siła (moment czy naprężenie), która zostanie użyta w tym zakresie, spełni w każdym scenariuszu ruchu założenia projektowe.

1. Połączenie kołnierzowe „nie wisi w powietrzu” jest przyspawane (lub inną metodą przytwierdzone) do rury lub płaszczu. Elementy te wprowadzają do połączenia siły i momenty zewnętrzne wpływające na stan obciążenia uszczelki, śrub i kołnierzy.
2. Mając to na uwadze, należy zadbać o znajomość wartości tych sił i momentów i użyć ich w obliczeniach.
3. Znajomość wartości obciążeń zewnętrznych ma niejednokrotnie decydujący wpływ na wielkość siły zacisku, więc i momentu dokręcenia.
4. Norma EN 1591-1 nie podaje sposobu wyznaczenia tych wielkości. Należy posłużyć się innymi algorytmami obliczeniowymi i wiedzą inżynierską.
5. Zawsze skręcać połączenie kołnierzowe znanym, wyliczonym momentem dokręcenia lub naciągać śruby znanymi siłami.
6. Używać narzędzi dających kontrolę nad naciąganiem – choćby klucza dynamometrycznego.
7. **Montażu powinni dokonywać przeszkoleni pracownicy – EN 1591-4.**

Bardzo niebezpieczna sytuacja.



# Zależności funkcyjne

## parametrów uszczeltek - projekt

**SPETECH**



### Factors acc. to EN 13555 to use in calculation standard EN 1591-1:2009/ :2013

Minimum level of surface pressure required for leakage rate class L on assembly  $Q_{min/L}$  and after off-loading  $Q_{Smin/L}$  at room temperature (RT)

Internal pressure [bar]	10										
L [mg/(s*m)]	$Q_{min/L}$ [MPa]	$Q_{Smin/L}$ [MPa] for effective gasket stress									
		$Q_A = 10$ [MPa]	$Q_A = 20$ [MPa]	$Q_A = 40$ [MPa]	$Q_A = 60$ [MPa]	$Q_A = 80$ [MPa]	$Q_A = 100$ [MPa]	$Q_A = 120$ [MPa]	$Q_A = 140$ [MPa]	$Q_A = 160$ [MPa]	
$10^{-0}$	5	5	5	5	5	5	5			5	
$10^{-1}$	5	5	5	5	5	5	5			5	
$10^{-2}$	19		16	5	5	5	5			5	
$10^{-3}$	39			35	16	10	7			5	
$10^{-4}$	63					35	27			10	
$10^{-5}$	99						96			28	
$10^{-6}$	159									156	

Minimum level of surface pressure required for leakage rate class L on assembly  $Q_{min/L}$  and after off-loading  $Q_{Smin/L}$  at room temperature (RT)

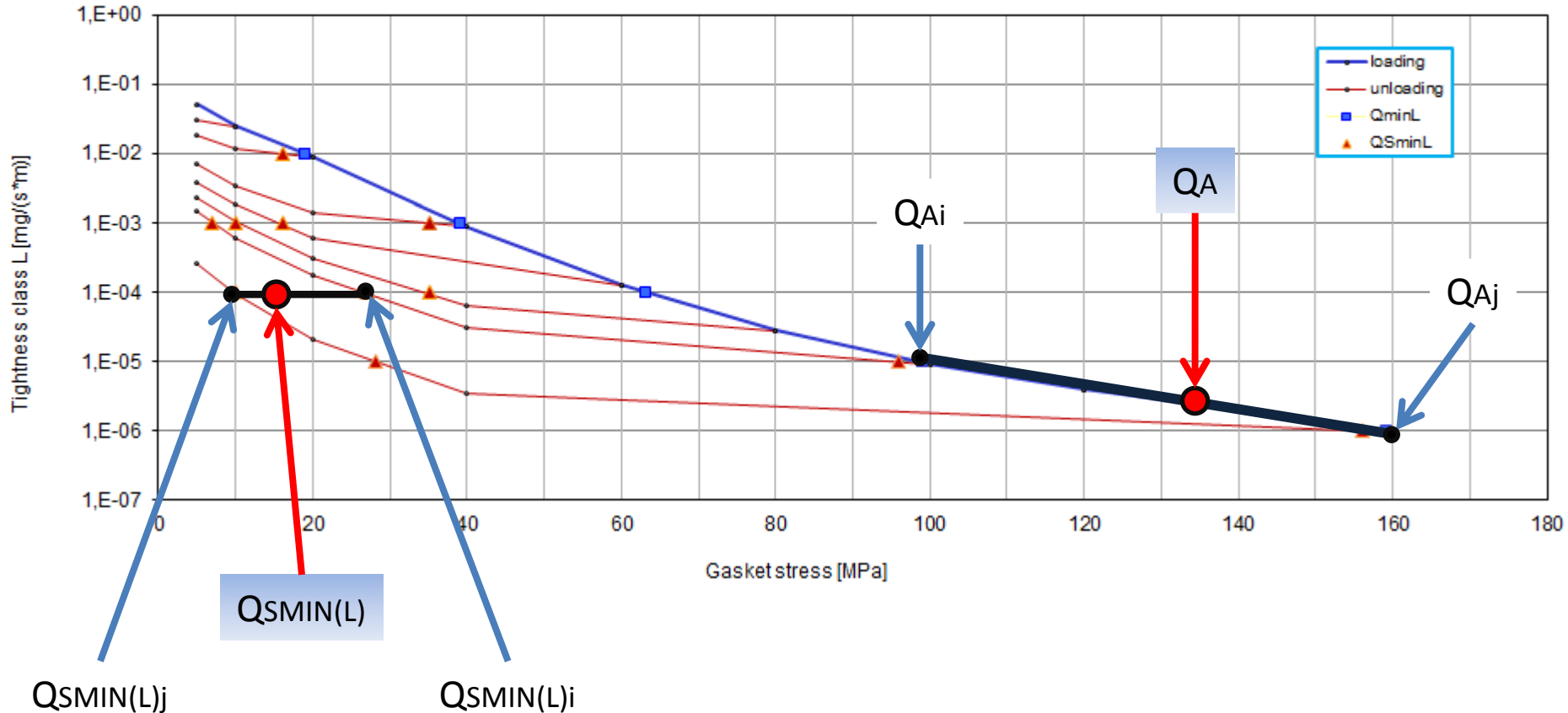
Internal pressure [bar]	40										
L [mg/(s*m)]	$Q_{min/L}$ [MPa]	$Q_{Smin/L}$ [MPa] for effective gasket stress									
		$Q_A = 10$ [MPa]	$Q_A = 20$ [MPa]	$Q_A = 40$ [MPa]	$Q_A = 60$ [MPa]	$Q_A = 80$ [MPa]	$Q_A = 100$ [MPa]	$Q_A = 120$ [MPa]	$Q_A = 140$ [MPa]	$Q_A = 160$ [MPa]	
$10^{-0}$	10		10	10	10	10	10			10	
$10^{-1}$	11		10	10	10	10	10			10	
$10^{-2}$	30			13	10	10	10			10	
$10^{-3}$	52				41	22	17			10	
$10^{-4}$	80						50			24	
$10^{-5}$	122									77	



# Zależności funkcyjne parametrów uszczelki - projekt



Leakage rate as a function of gasket stress - pressure 10 bar / RT



$$Q_{SMIN(L)} = Q_{SMIN(L)i} + \frac{(Q_A - Q_{Ai}) \cdot (Q_{SMIN(L)j} - Q_{SMIN(L)i})}{(Q_{Aj} - Q_{Ai})}$$

# Zależności funkcyjne parametrów uszczeliek – projekt Interpolacje



$$Q_{Smax} = Q_{Smaxi} + \frac{Q_{Smaxj} - Q_{Smaxi}}{T_j - T_i} \cdot (T - T_i)$$

$$E_G = E_{Gi} + \frac{E_{Gj} - E_{Gi}}{T_j - T_i} \cdot (T - T_i)$$

$$E_G = E_{Gi} + \frac{E_{Gj} - E_{Gi}}{Q_{Aj} - Q_{Ai}} \cdot (Q_A - Q_{Ai})$$

$$P_{QR} = P_{QRi} + \frac{P_{QRj} - P_{QRi}}{T_j - T_i} \cdot (T - T_i)$$

$$P_{QR} = P_{QRi} + \frac{P_{QRj} - P_{QRi}}{Q_{Aj} - Q_{Ai}} \cdot (Q_A - Q_{Ai})$$

$$P_{QR} = P_{QRi} + \frac{P_{QRj} - P_{QRi}}{C_j - C} \cdot (C - C_i)$$

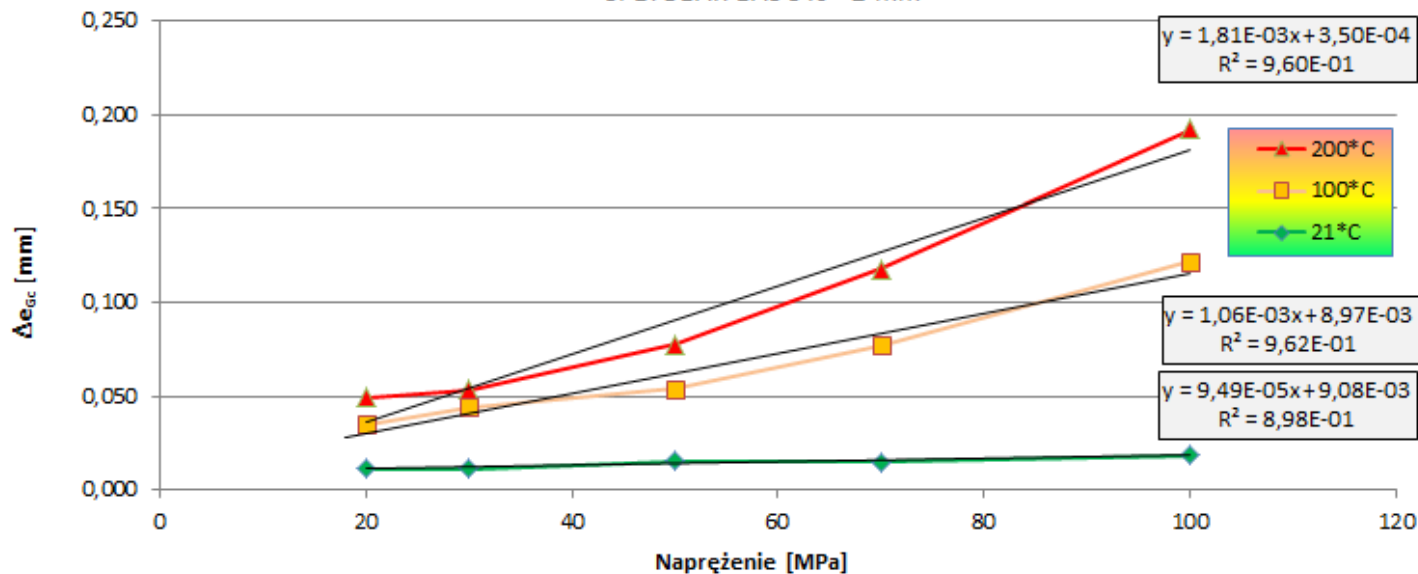
# Zależności funkcyjne parametrów uszczeliek – projekt



Parameters at 100°C				
Gasket stress [MPa]	Unloading modulus of elasticity	Gasket or sealing element thickness $e_G$	Creep relaxation factor $P_{QR}$	Gasket thickness change due to creep $\Delta e_{Gc}$
	[MPa]			
1		1,901		
20	1803	1,775		
30	2296	1,756	0,85	0,038
40	2757	1,738		
50	3675	1,725	0,91	0,038
60	3935	1,711		
80	4852	1,680		
100	5449	1,641	0,85	0,126
120	5577	1,599		
140	6394	1,549		
160	6464	1,488		
180	7149	1,426		
200	7555	1,355		
			0,88	0,232

Wartość  $\Delta e_{Gc}$  w funkcji naprężenia na uszczelce

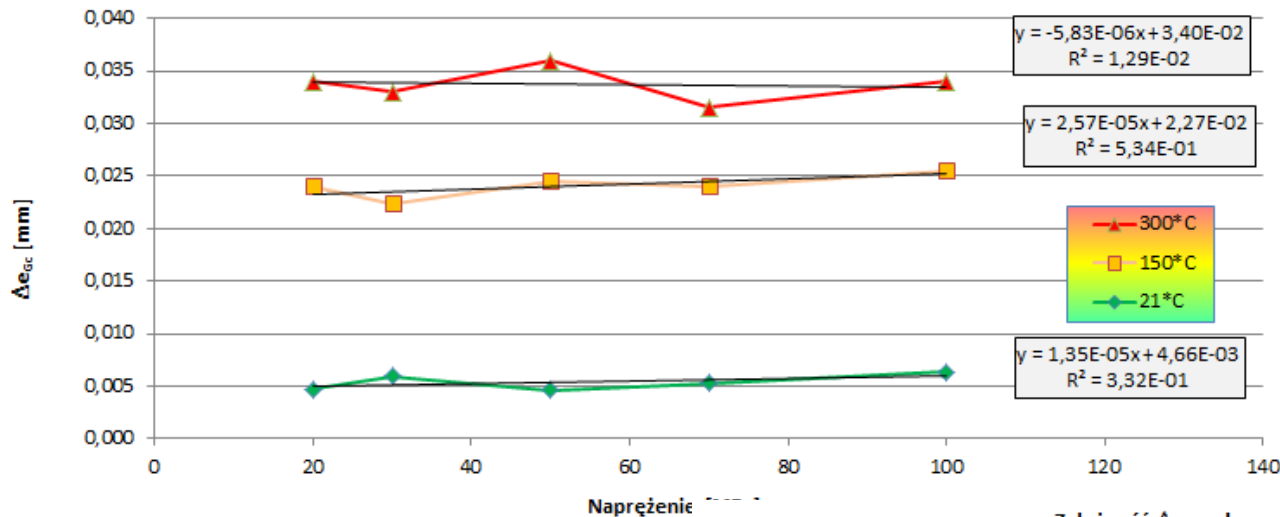
SPETOBAR BAS 340 2 mm



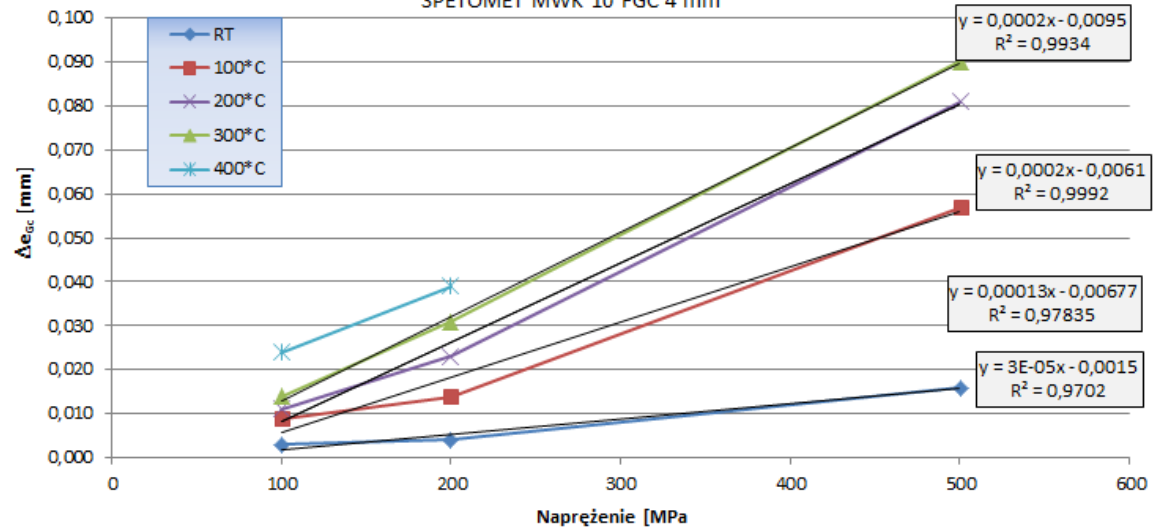
# Zależności funkcyjne parametrów uszczeliek – projekt



Wartość  $\Delta e_{gc}$  w funkcji naprężenia na uszczelce  
SPETOGRAF GUS 30 PRO 2 mm



Zależność  $\Delta e_{gc}$  od naprężenia na uszczelce  
SPETOMET MWK 10 FGC 4 mm





**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ.**