



---

# BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH W NISKICH TEMPERATURACH

**Dr inż. Marek Pszczoła**

***Katedra Inżynierii Drogowej,  
Politechnika Gdańska***

# PLAN PREZENTACJI

---

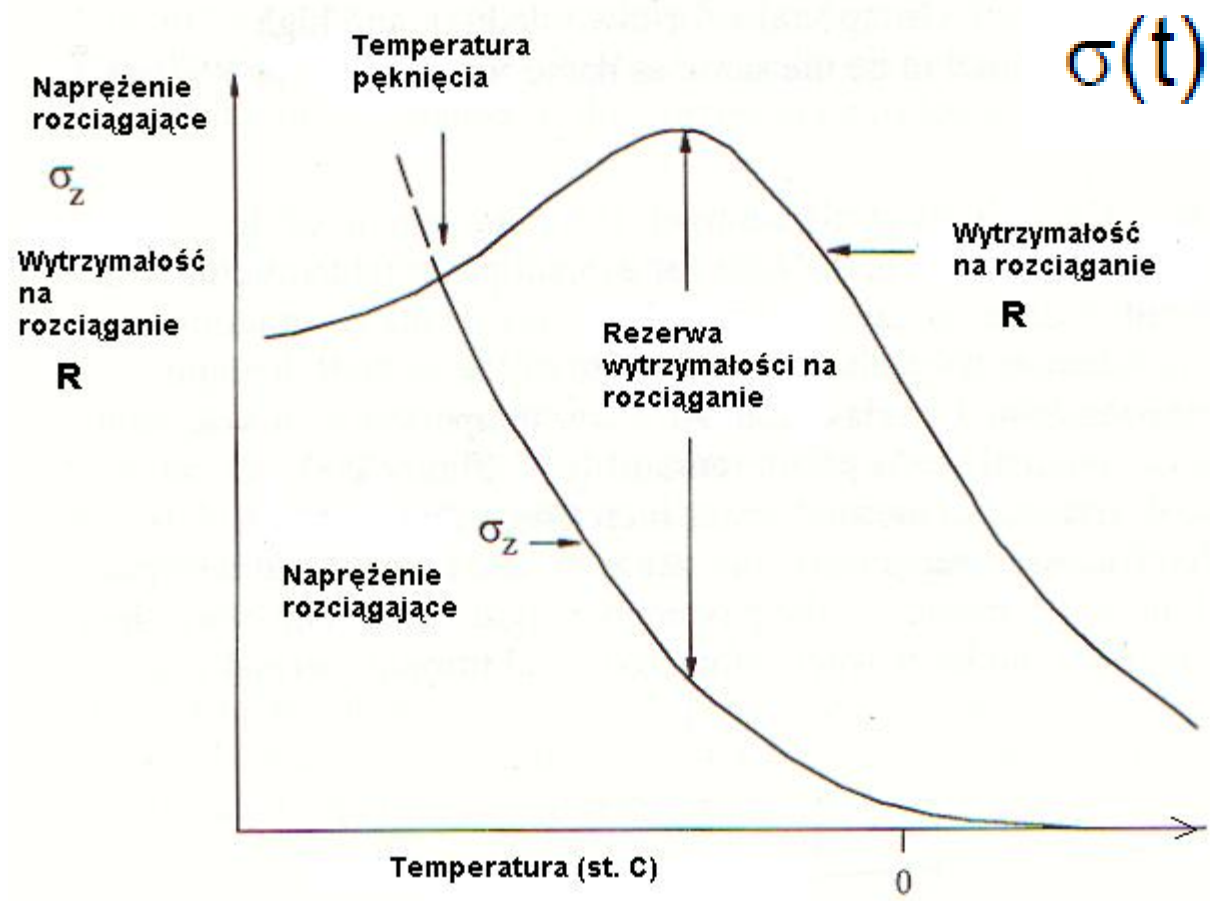


- **Wprowadzenie**
- **Mechanizm powstawania spękań niskotemperaturowych**
- **Rozkład temperatury w warstwach asfaltowych**
- **Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych w niskich temperaturach**
- **Naprężenia termiczne w warstwach asfaltowych**
- **Podsumowanie i wnioski**



- **Badania odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na powstawanie spękań niskotemperaturowych prowadzone są na Politechnice Gdańskiej od lat 70-tych XX w.**
- **Opracowano i zmodyfikowano metodę zginania i pełzania próbek w niskich temperaturach w schemacie belki trzypunktowej**
- **Na przestrzeni lat badano właściwości niskotemperaturowe różnych typów mieszanek mineralno-asfaltowych z różnymi asfaltami**

# MECHANIZM POWSTAWANIA SPĘKAŃ NISKOTEMPERATUROWYCH



$$\sigma(t) \geq R(T)$$

# CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA SPEKANIA NISKOTEMPERATUROWE

---



## DUŻY WPŁYW

- **Rodzaj i właściwości asfaltu, sztywność mieszanki mineralno-asfaltowej**
- **Temperatura, tempo schładzania nawierzchni**
- **Grubość konstrukcji, a przede wszystkim grubość warstw asfaltowych**
- **Wiek nawierzchni, związany ze starzeniem MMA**

# CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA SPEKANIA NISKOTEMPERATUROWE

---



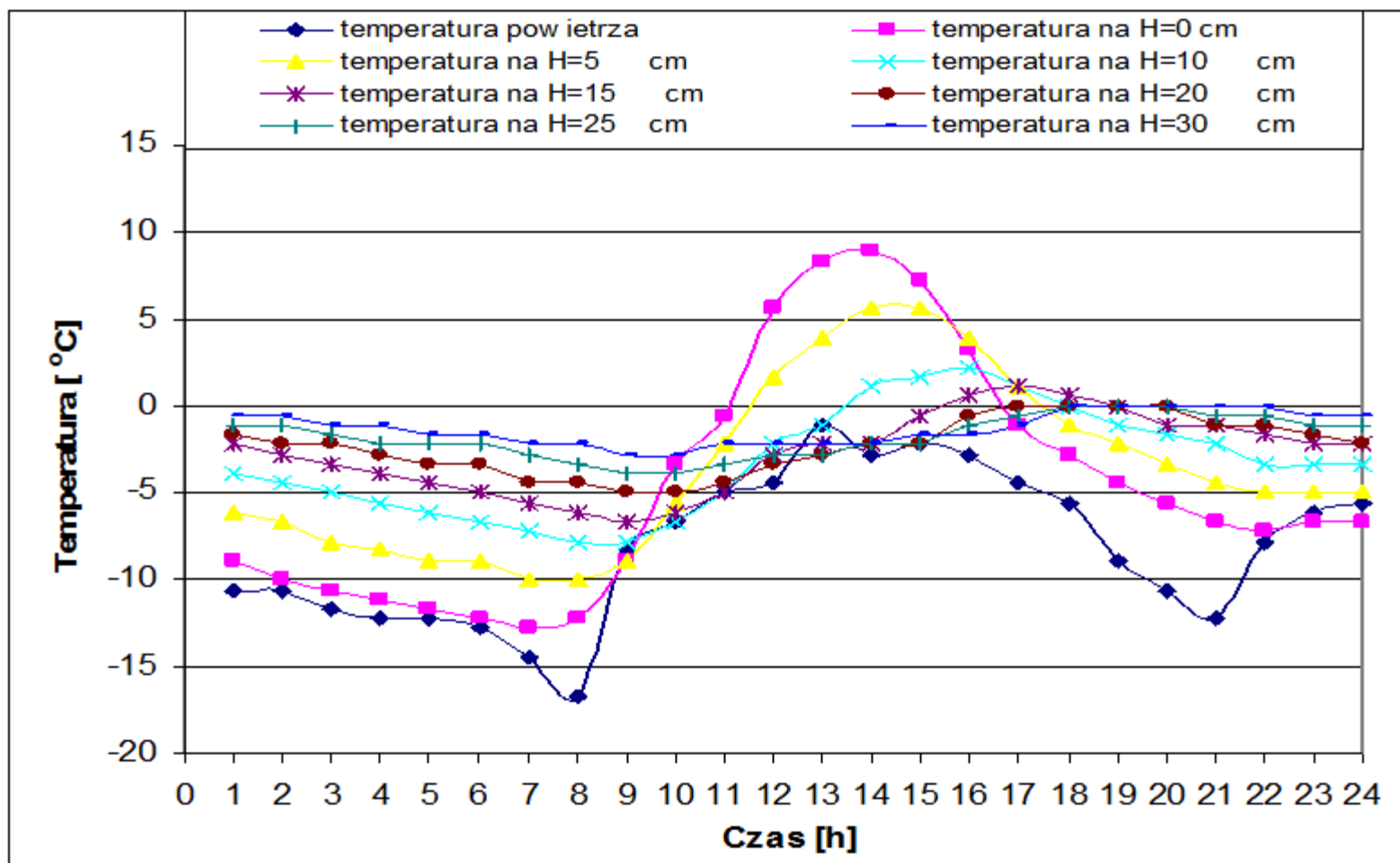
## MAŁY WPŁYW LUB WPŁYW NIEZNANY

- **Typ kruszywa**
- **Szerokość nawierzchni, współczynnik tarcia pomiędzy warstwą asfaltową a podbudową z kruszywa, typ podłoża gruntowego**
- **Obciążenie ruchem pojazdów (nie wpływa na powstanie ale istotnie wpływa na szybkość propagacji spekania)**



- **Im dłuższy czas relaksacji i wyższy moduł sztywności MMA tym większe naprężenia termiczne i szybsze powstanie spękań niskotemperaturowych**
- **Im twardszy asfalt w MMA tym więcej spękań niskotemperaturowych**

# PRZYKŁADOWY ROZKŁAD TEMPERATURY - STYCZEŃ

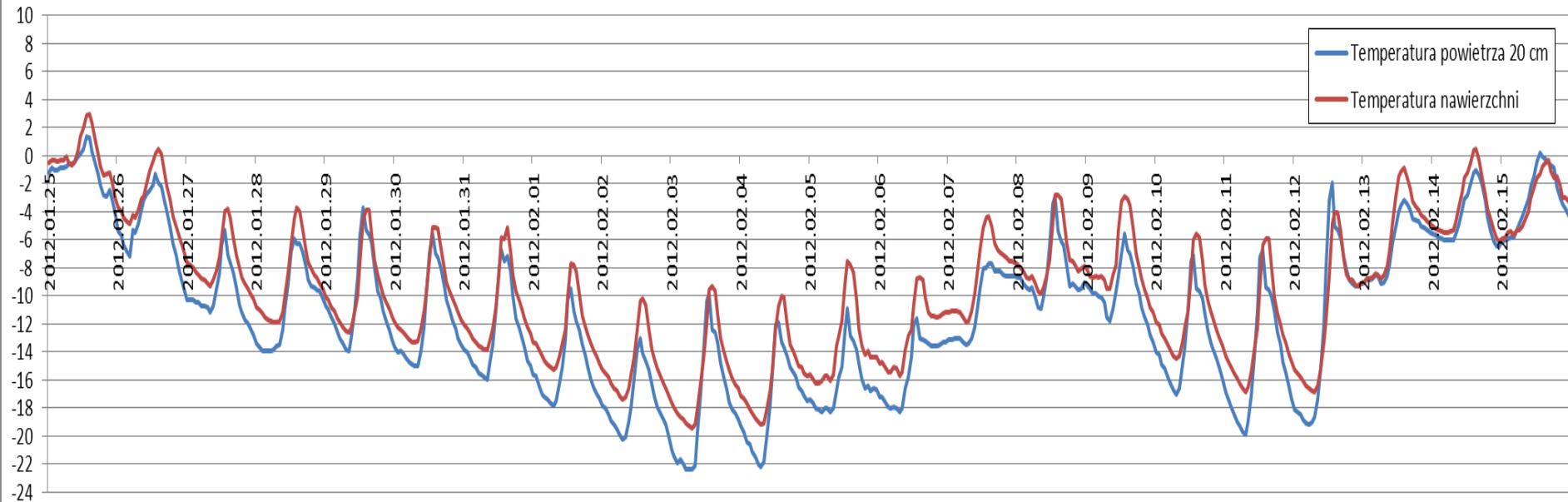




# PRZYKŁADOWE POMIARY TEMPERATURY - ZIMA 2012



Stacja GDDkiA Wiskitki DK50 - T badana co godzinę



# PRZYKŁADOWE PRĘDKOŚCI CHŁODZENIA NAWIERZCHNI



## ZIMA 2012

Lp.	Nazwa stacji	Lokalizacja	$T_{\min}$ na powierzchni nawierzchni	$T_{\text{powietrza}}$ 20 cm nad powierzchnią nawierzchni	Maksymalna prędkość chłodzenia nawierzchni $\Delta T$ [°C]	Maksymalna prędkość chłodzenia powietrza $\Delta T$ [°C]	Spadki temperatury poniżej -16°C
<b>Stacje GDDKiA</b>							
1.	Dachowa	DK2 - okolice Warszawy	-19	-21,5	2,7	3,7	9 dni
2.	Wiskitki	DK50 – okolice Warszawy	-19,4	-22,4	2,3	3,1	10 dni
3.	Sędziszów Małopolski	DK4	-20,5	-26,1	2	3,5	14 dni
<b>Stacje IMGW</b>							
4.	Łódź	Łódź	brak danych	-21,9	brak danych	brak danych	9 dni
5.	Rzeszów Jasionka	Rzeszów	brak danych	-27,5	brak danych	brak danych	16 dni

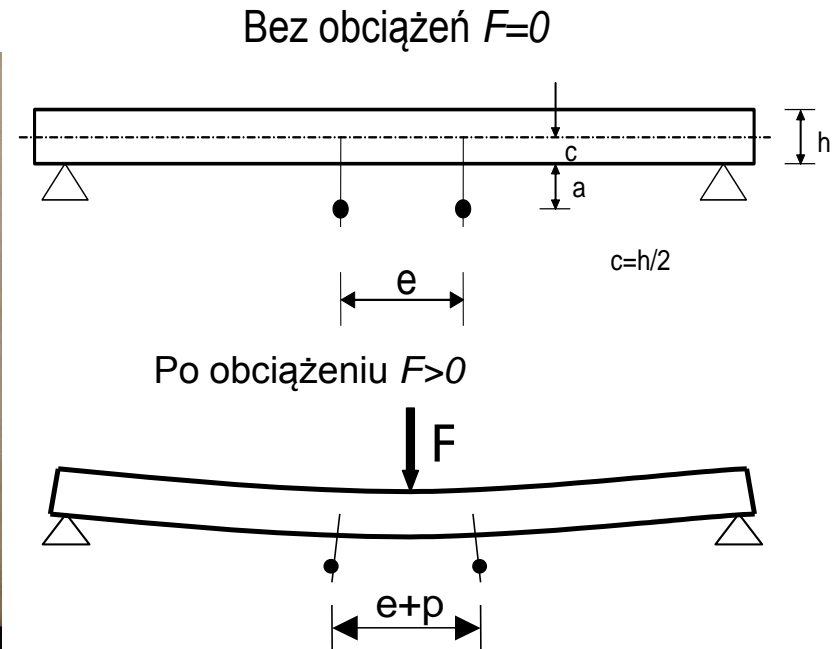


- **Zginanie próbek ze stałą prędkością deformacji**
- **Zginanie próbek przy stałym obciążeniu (creep test)**
- **Pośrednie rozciąganie**
- **Rozciąganie termiczne przy ograniczonym odkształceniu (test TSRST)**



- **Beton asfaltowy AC, w tym również AC WMS oraz mastyks grysowy SMA**
- **Asfalty zwykłe, modyfikowane elastomerem SBS oraz asfalty wielorodzajowe**
- **Mieszanki przygotowane w laboratorium lub dowiezione z wytwórni**
- **Próbki po laboratoryjnym starzeniu krótko i długoterminowym**
- **Badania dotyczyły głównie warstwy ścieralnej**

# ZGINANIE ZE STAŁĄ PRĘDKOŚCIĄ DEFORMACJI

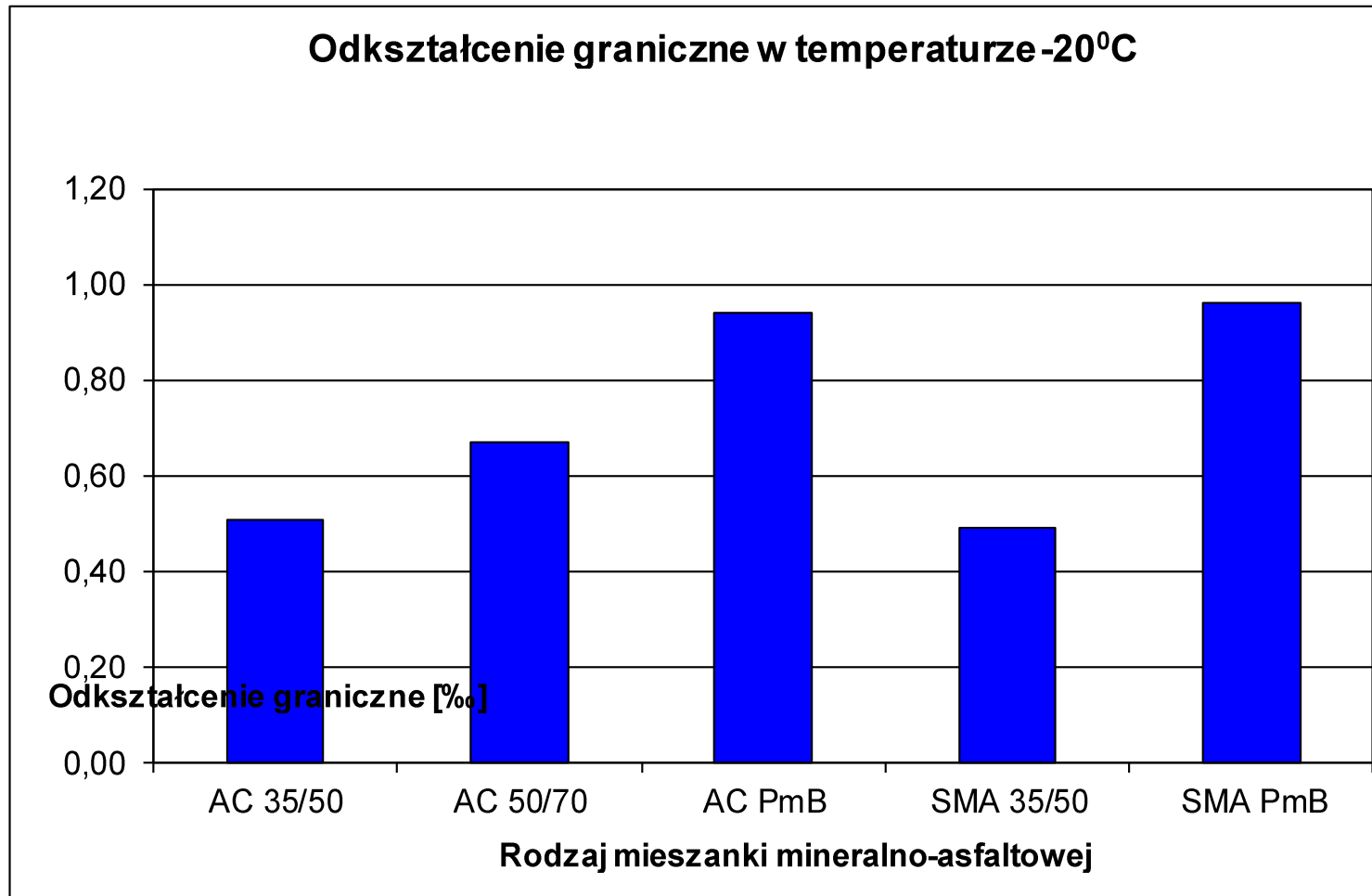


$$\varepsilon_{gran} = \frac{p_{max}}{e} \times \frac{c}{c+a}$$

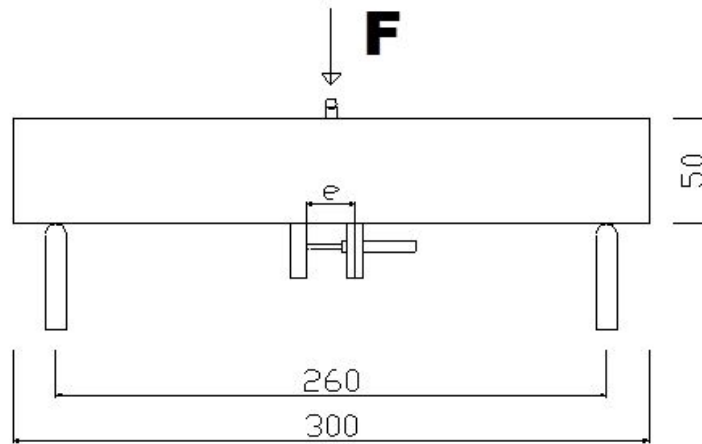
$$R_{rz} = \frac{3F_{max}l}{2bh^2}$$

$$S = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

# ODKSZTAŁCENIE GRANICZNE

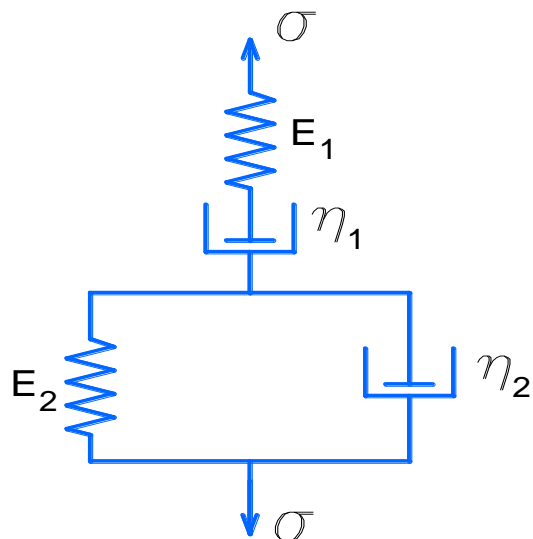


# BADANIE PEŁZANIA (CREEP TEST)

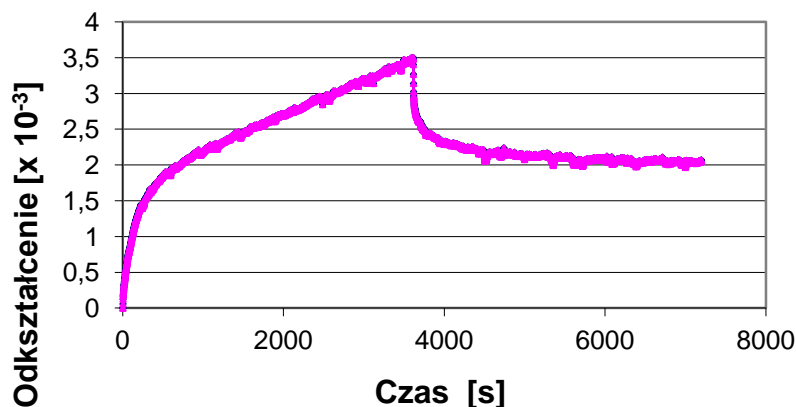


**Temperatura badania  
od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $+10^{\circ}\text{C}$**

# MODEL TEORETYCZNY BURGERSA



AC - temperatura badania-10 °C



- **Odształcenie przy obciążeniu**  
 $0 \leq t \leq t_0, \sigma_0 = \text{const.}$

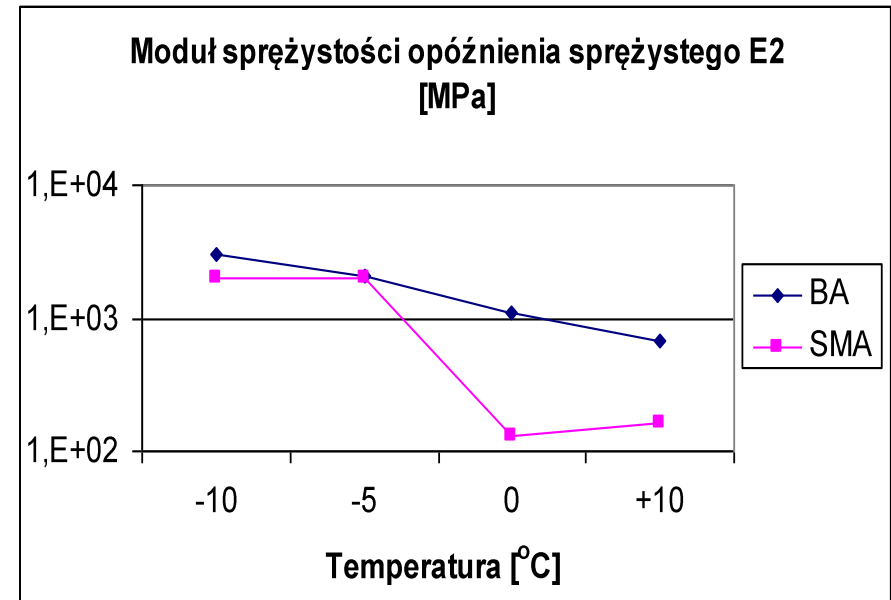
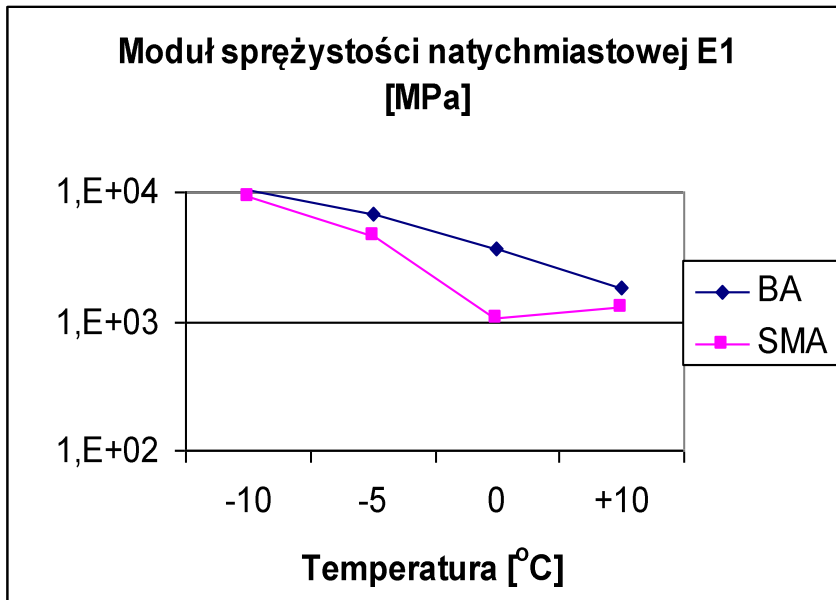
$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left\{ \frac{1}{E_1} + \frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\lambda_2}\right) \right] \right\}$$

- **Odształcenie przy odciążeniu  $t > t_0, \sigma_0 = 0$**

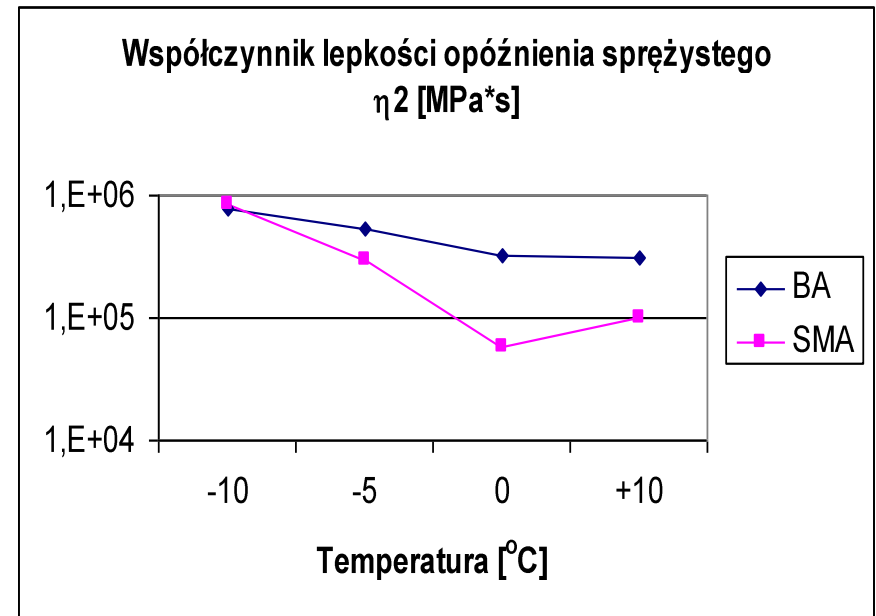
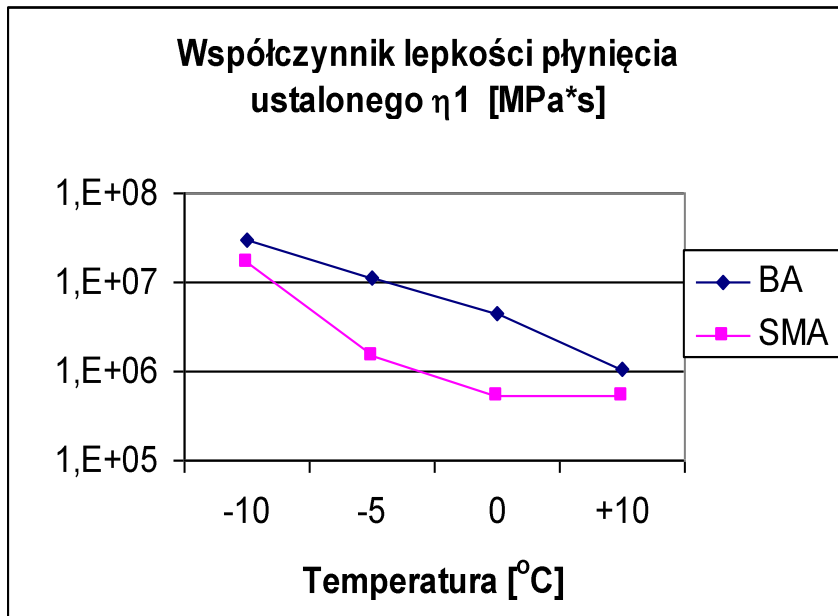
$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left\{ \frac{t_0}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{t}{\lambda_2}\right) \left[ \exp\left(\frac{t_0}{\lambda_2}\right) - 1 \right] \right\}$$



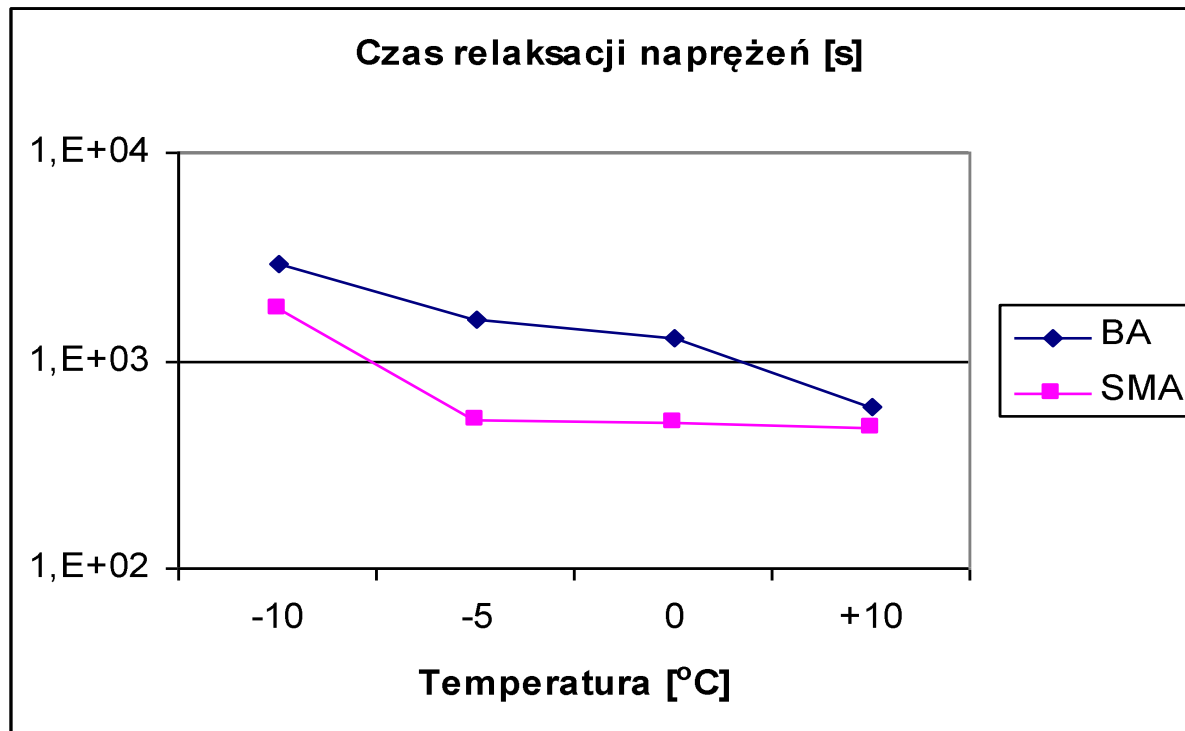
# MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI



# WSPÓŁCZYNNIK LEPKOŚCI



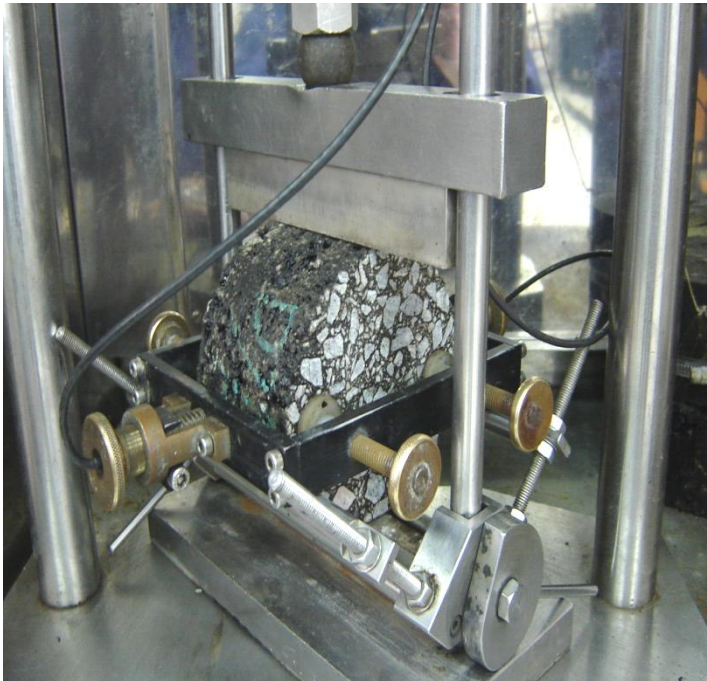
# RELAKSACJA NAPRĘŻEŃ



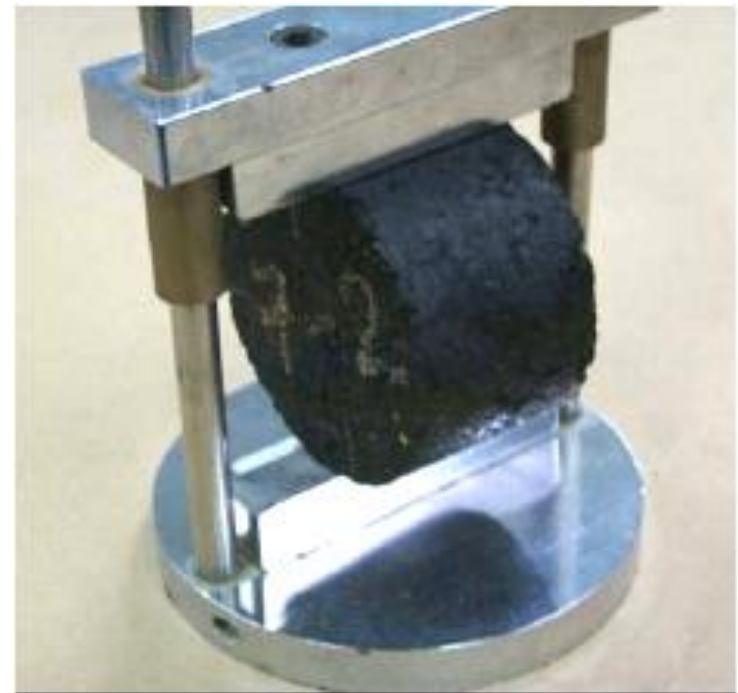
# BADANIA METODĄ POŚREDNIEGO ROZCIĄGANIA



**Moduł sztywności sprężystej**

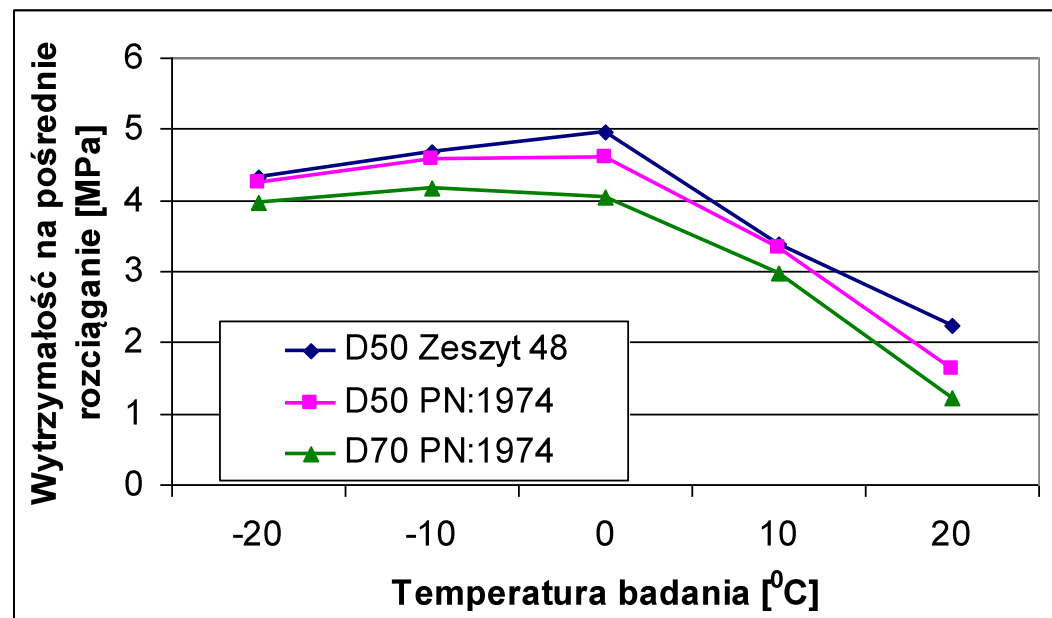
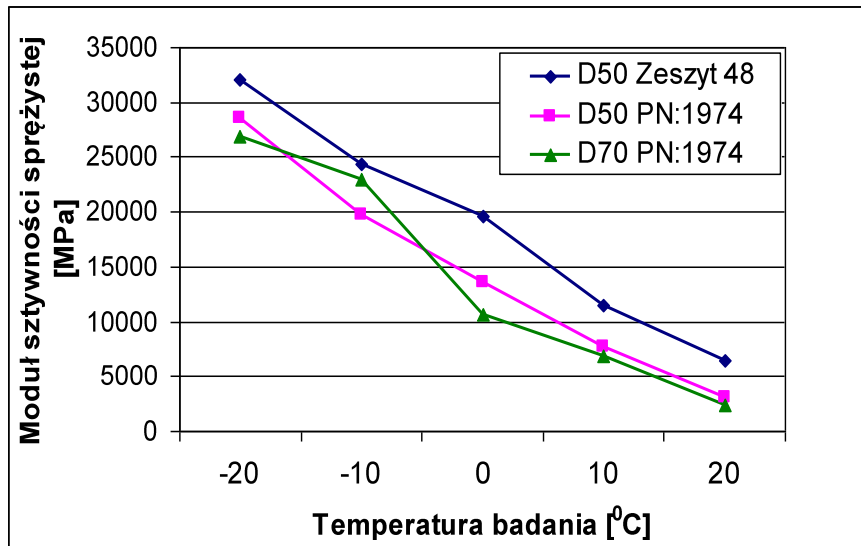


**Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie**



**Zakres temperatur od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+10^{\circ}\text{C}$**

# WYNIKI BADAŃ METODĄ POŚREDNIEGO ROZCIĄGANIA



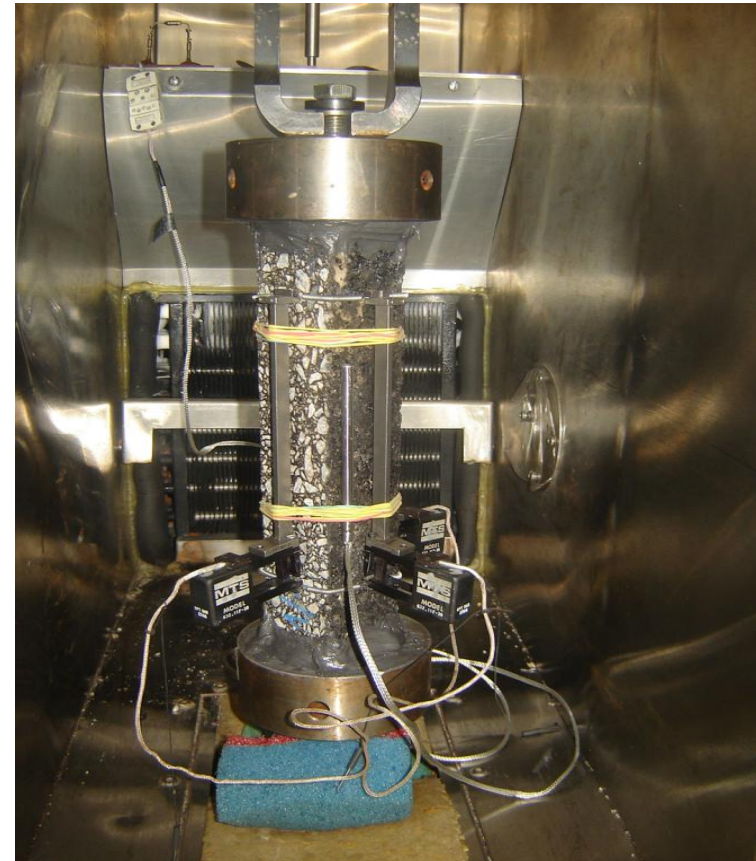
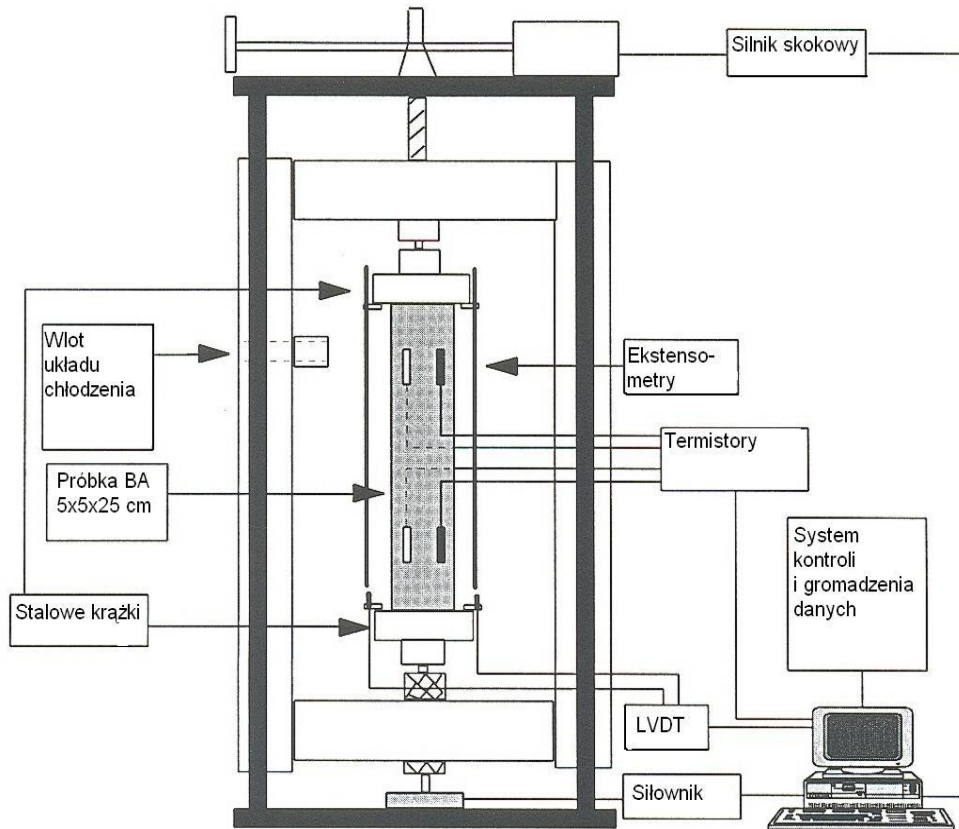
# ROZCIĄGANIE TERMICZNE PRZY OGRANICZONYM ODKSZTAŁCENIU



## (TEST TSRST)

- **Metodyka badań zgodnie z normą AASHTO TP 10-93**
- **Od lipca 2012 według normy PN-EN 12697-46:2012 „Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 46: Pękanie niskotemperaturowe i właściwości w badaniach osiowego rozciągania”**
- **Prędkość chłodzenia 10°C/h**
- **Pierwsze badania: Monismith (1965), potem Fabb (1974), Arand (1990)**

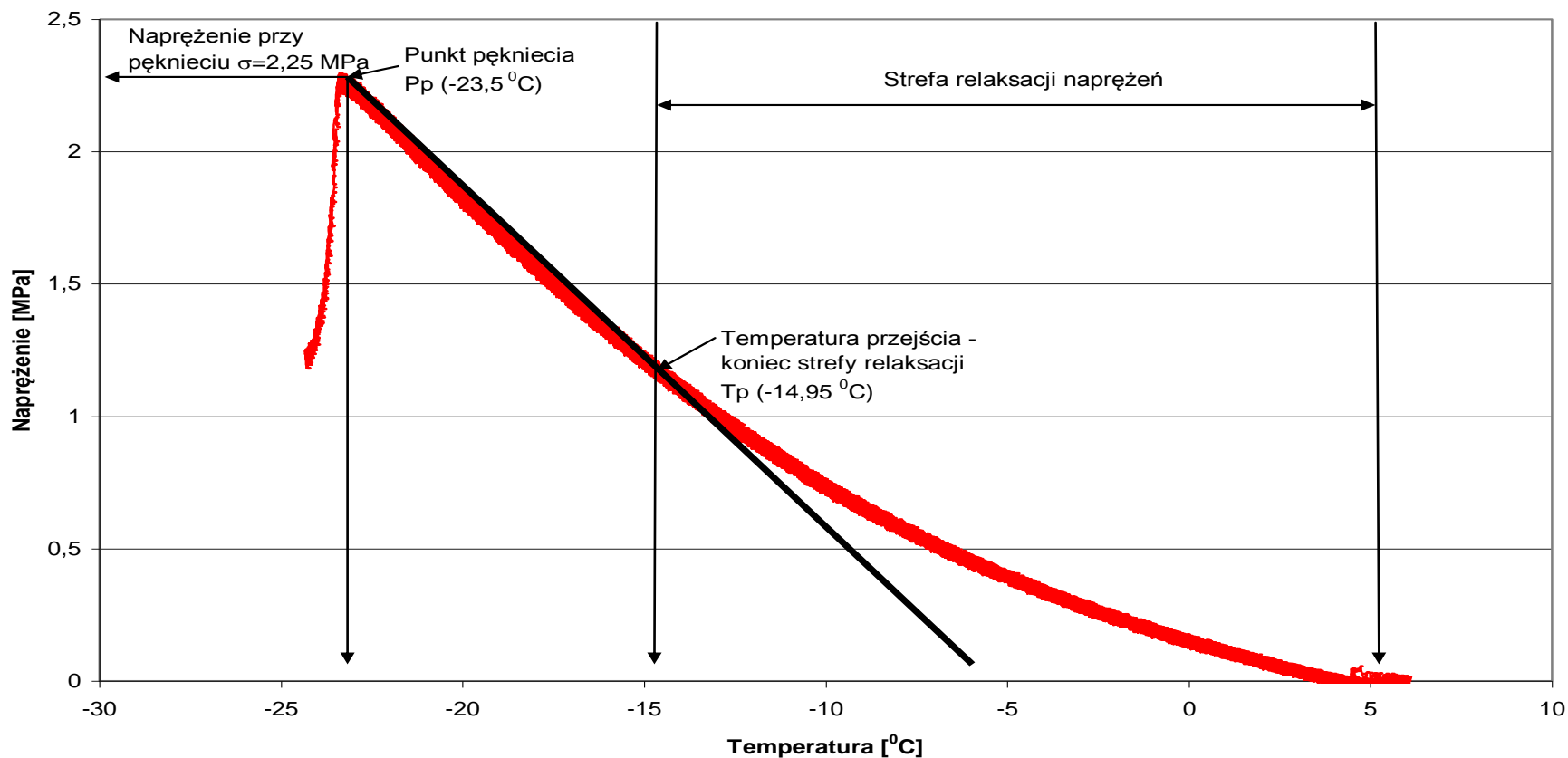
# METODA TSRST – SCHEMAT



# SPOSÓB OCENY TSRST

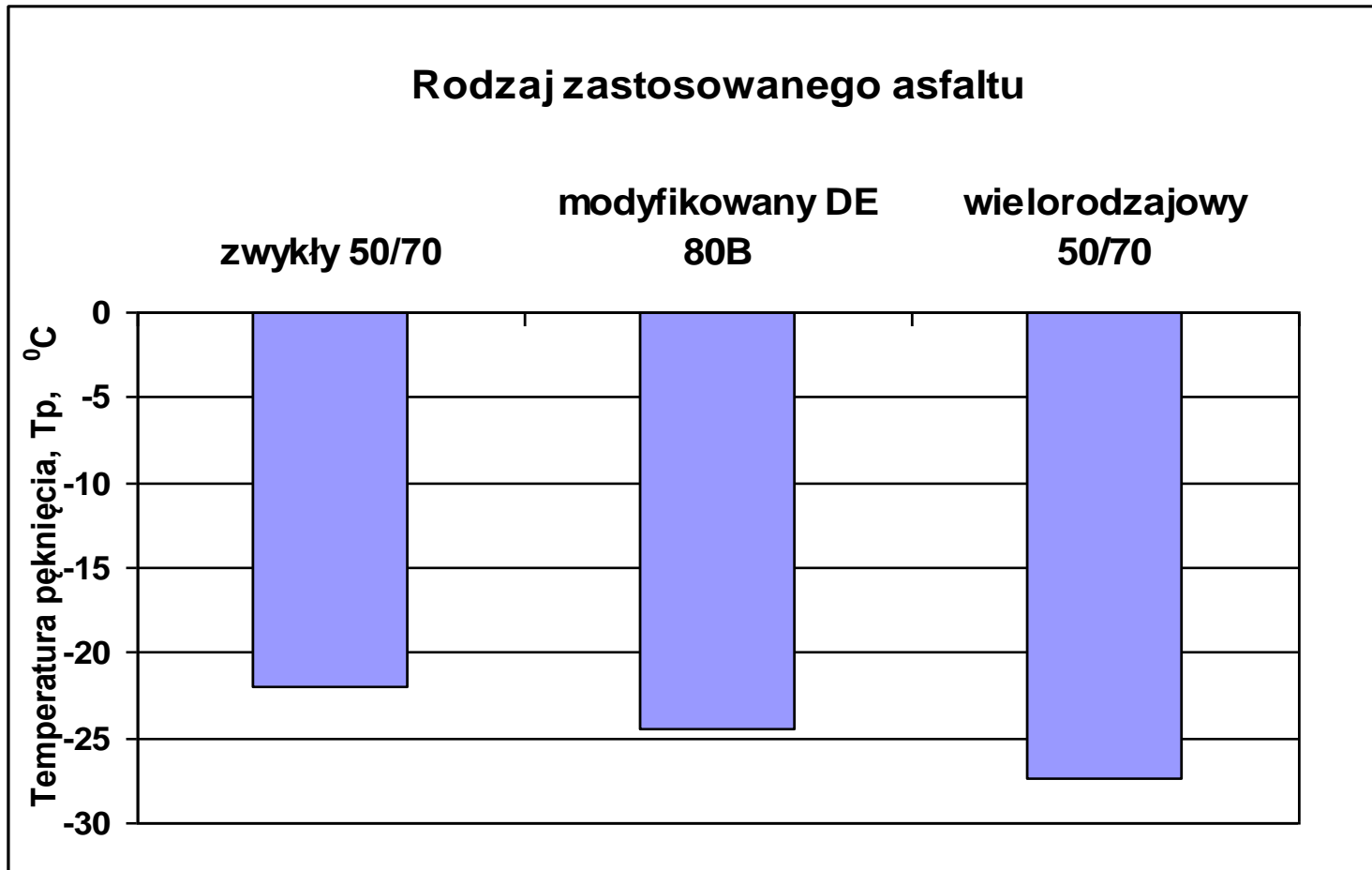


**Badanie TSRST**  
(przykładowa próbka f2/1)





# TEMPERATURA PĘKNIĘCIA

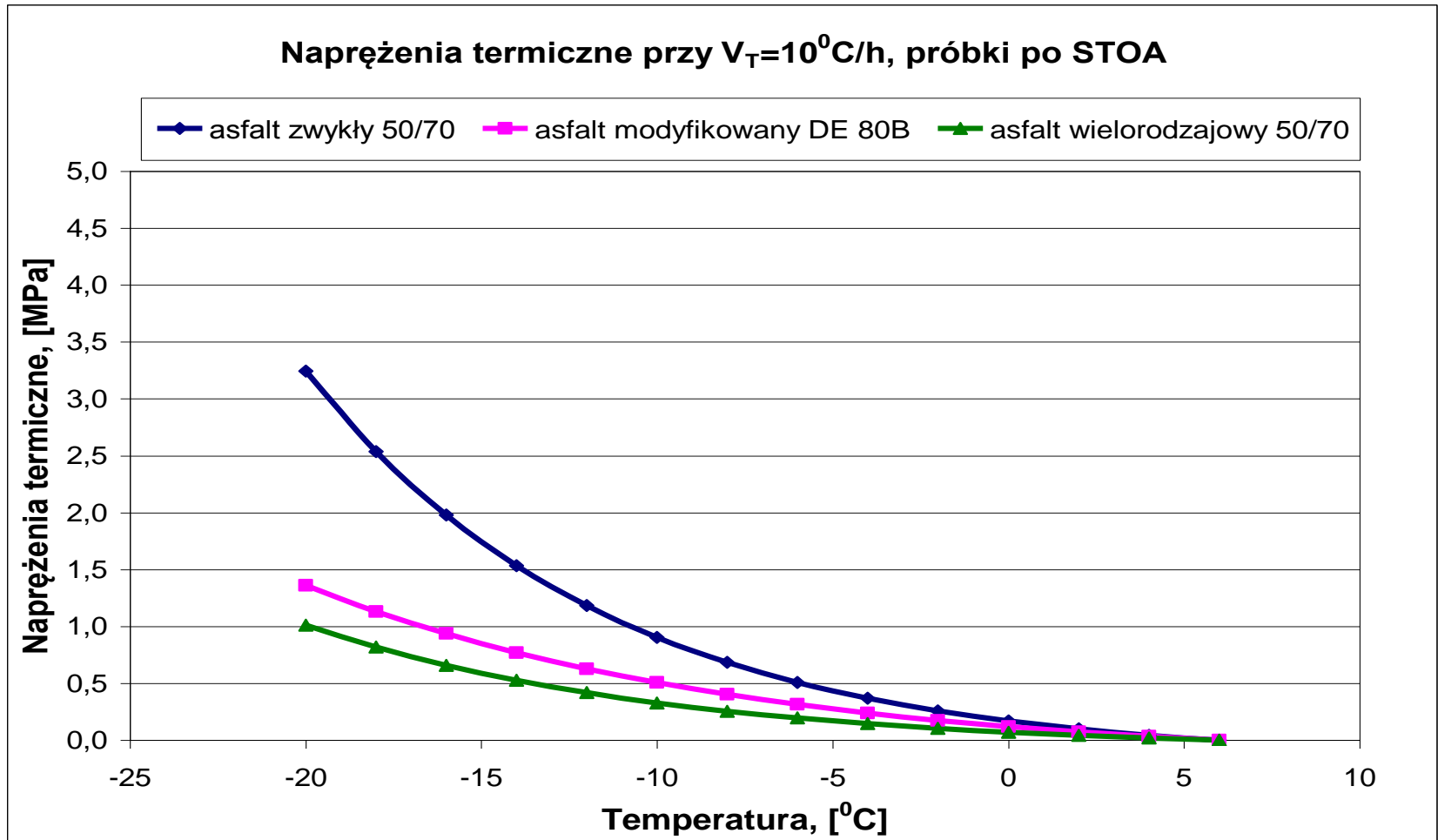


## METODA HILLSA I BRIENA

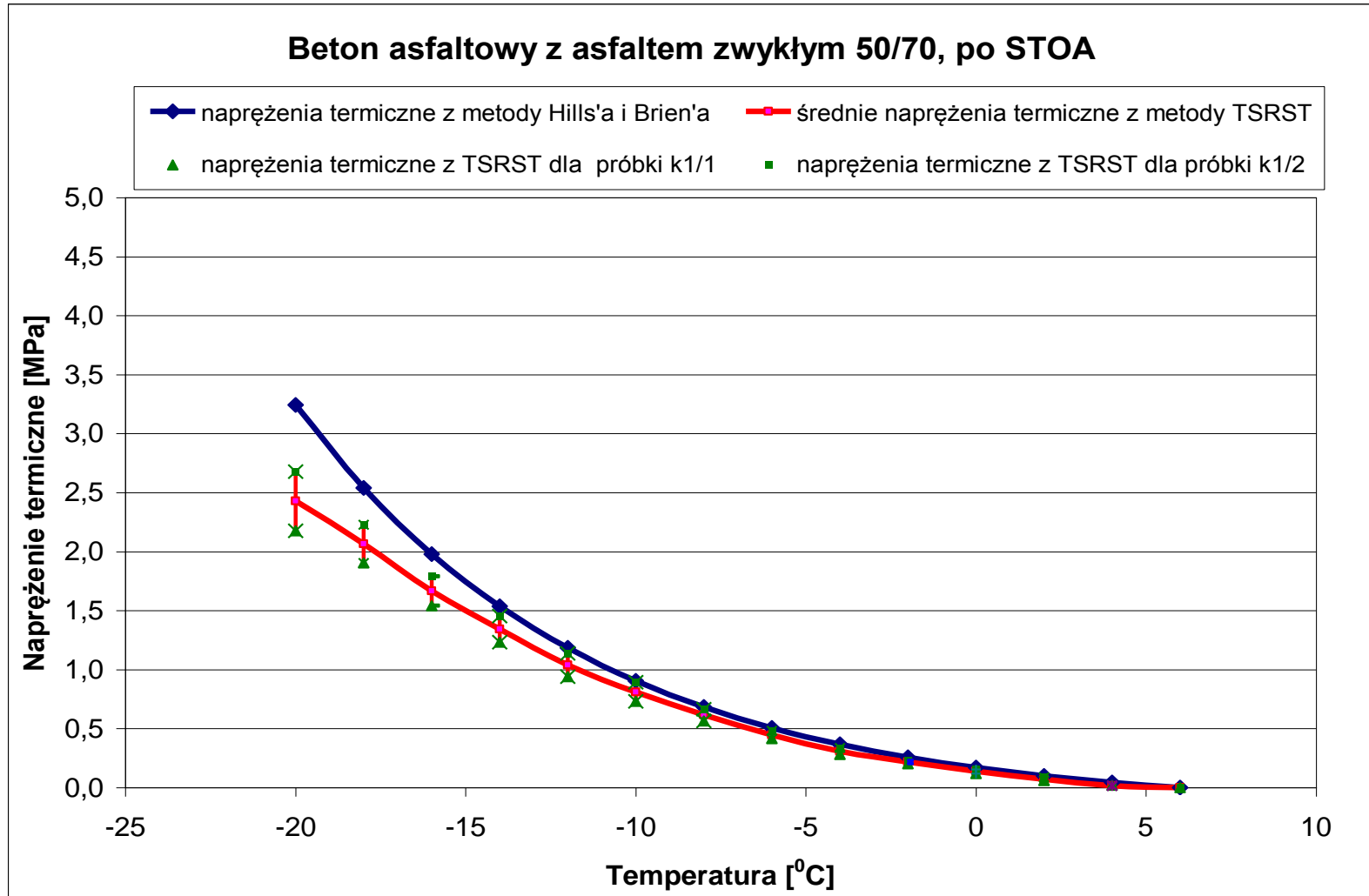
$$\alpha \Sigma S(t, T) \Delta T < \sigma_x < \frac{1}{1 - \mu} \alpha \Sigma S(t, T) \Delta T$$

<b>S (T, t)</b>	- moduł sztywności z badań
<b>t</b>	- czas
<b>T</b>	- temperatura
<b><math>\alpha</math></b>	- współczynnik rozszerzalności termicznej
<b><math>\Delta T</math></b>	- przedział temperatury
<b><math>\mu</math></b>	- współczynnik Poissona

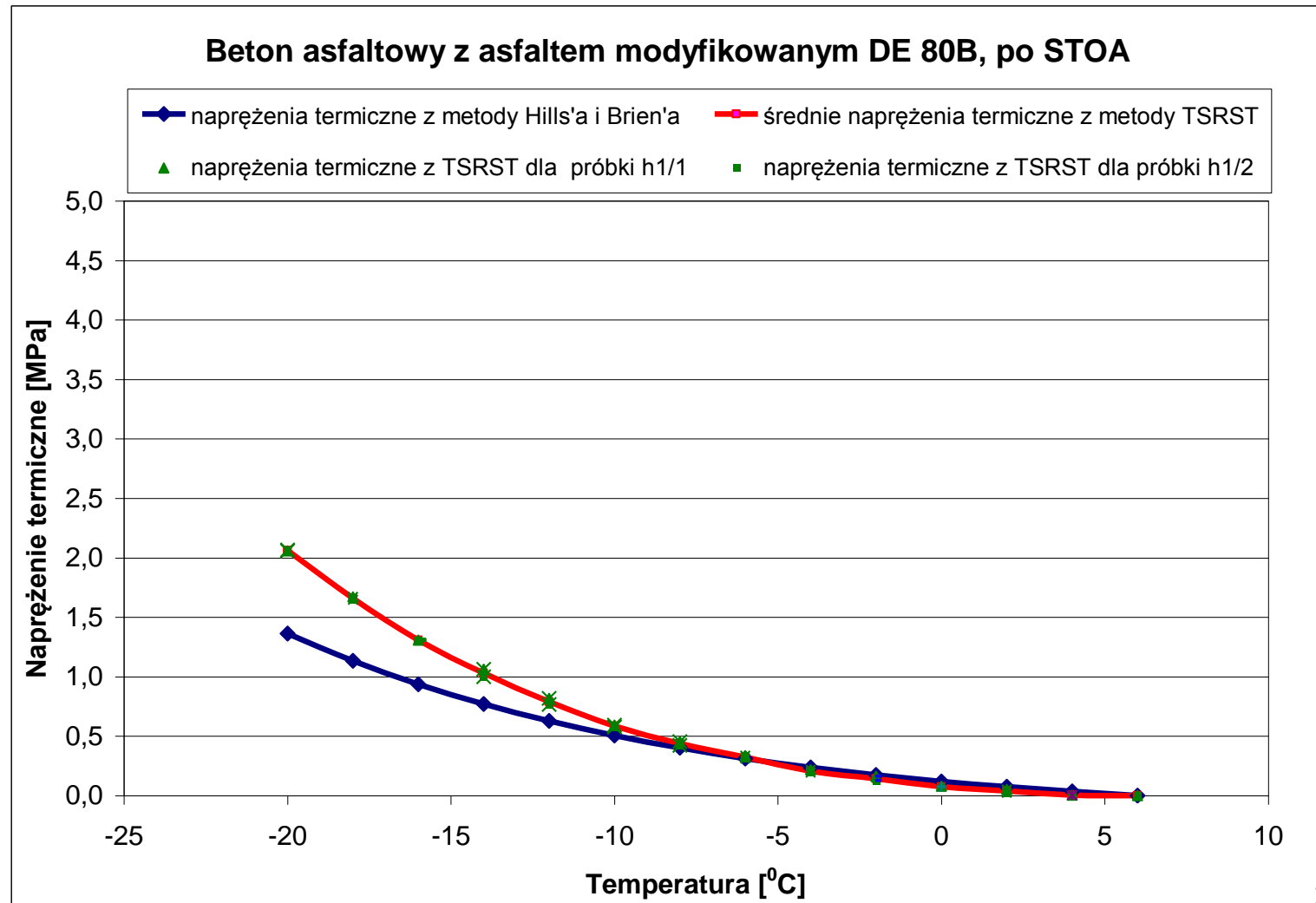
# PRZYKŁAD OBLICZEŃ NAPRĘŻEŃ TERMICZNYCH



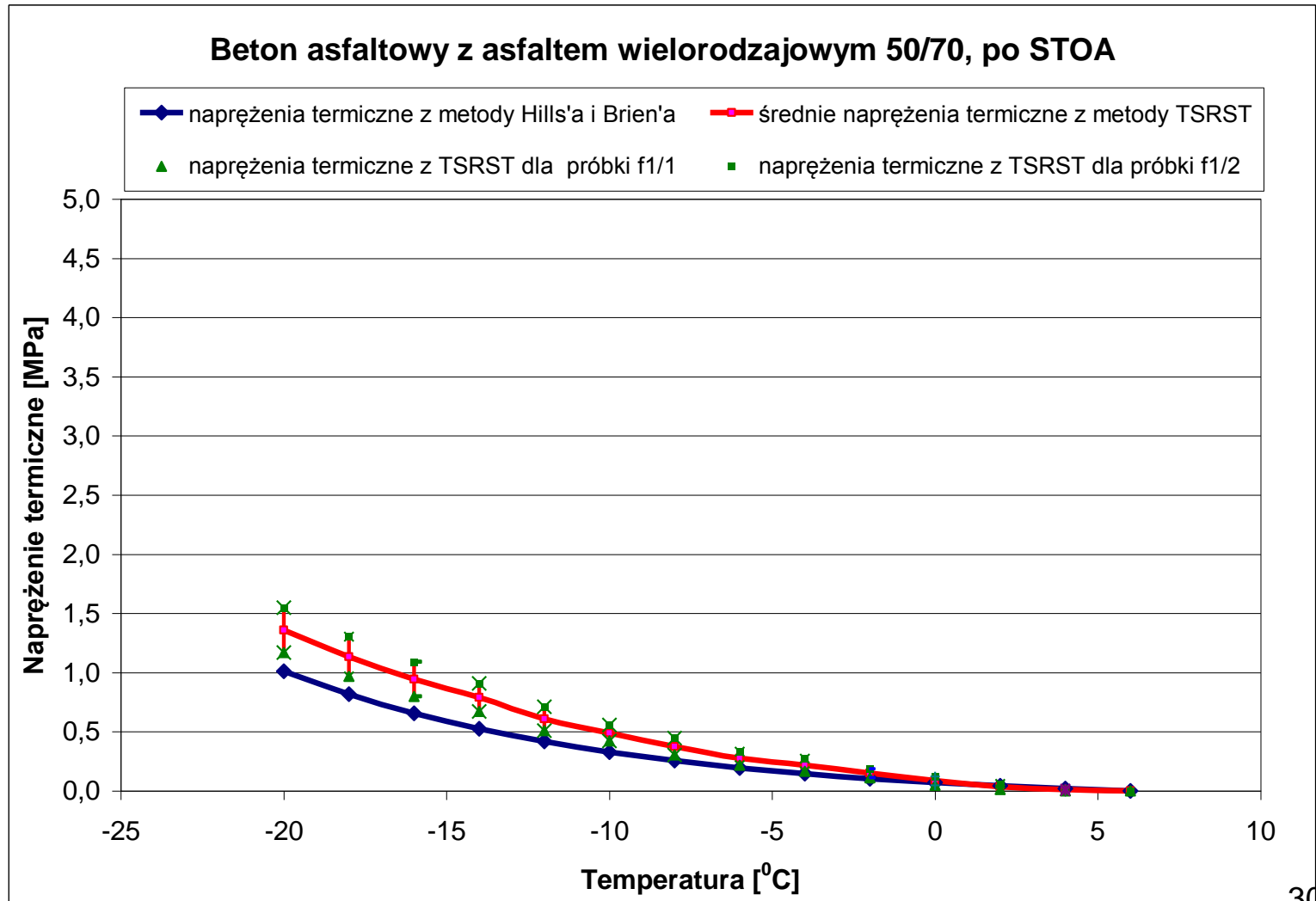
# NAPRĘŻENIA TERMICZNE OBLICZONE I ZBADANE LABORATORYJNIE



# NAPRĘŻENIA TERMICZNE OBLICZONE I ZBADANE LABORATORYJNIE



# NAPRĘŻENIA TERMICZNE OBLICZONE I ZBADANE LABORATORYJNIE



# BADANIA TERENOWE SPEKAŃ POPZRZECZNYCH (POLITECHNIKA GDAŃSKA)



- Lata 1999, 2000, 2005, 2012
- Obserwacje 143 odcinków dróg
- Dokładne badania nawierzchni 95 odcinków
- 42 odcinki - nawierzchnie podatne
- 43 odcinki - nawierzchnie półsztywne





# SPEKANIE NISKOTEMPERATUROWE

DR Nr 591 Km 14 + 850





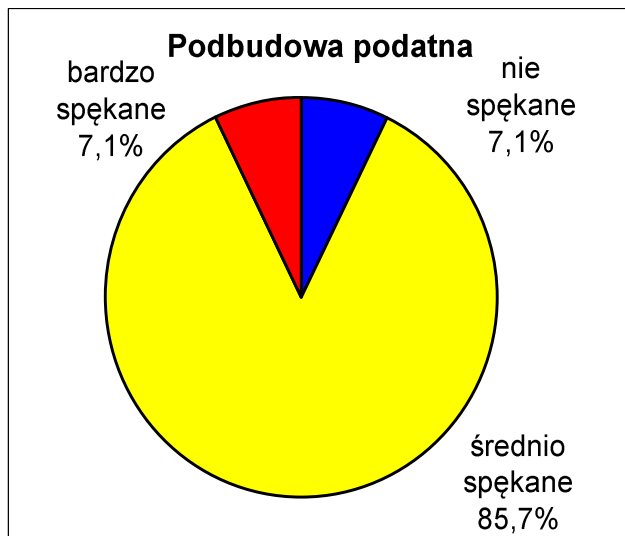
# KLASYFIKACJA



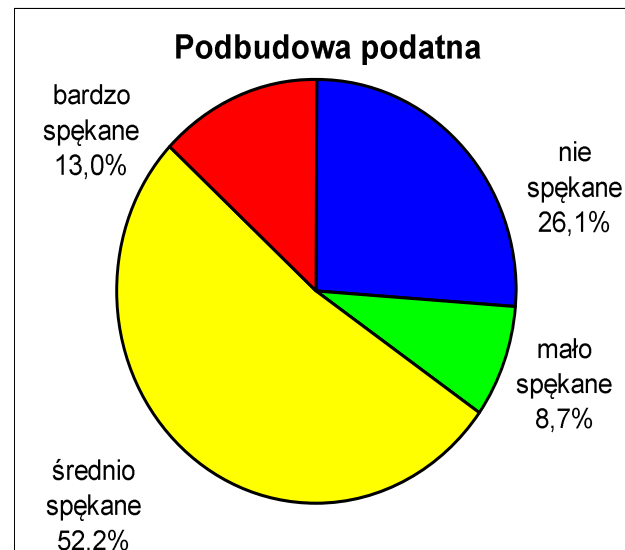
- **NIESPEKANE** <2 spękania /km
- **MAŁO SPEKANE** 2 – 10 spękań/km
- **ŚREDNIO** 10 – 50 spękań/km
- **MOCNO** > 50 spękań/km



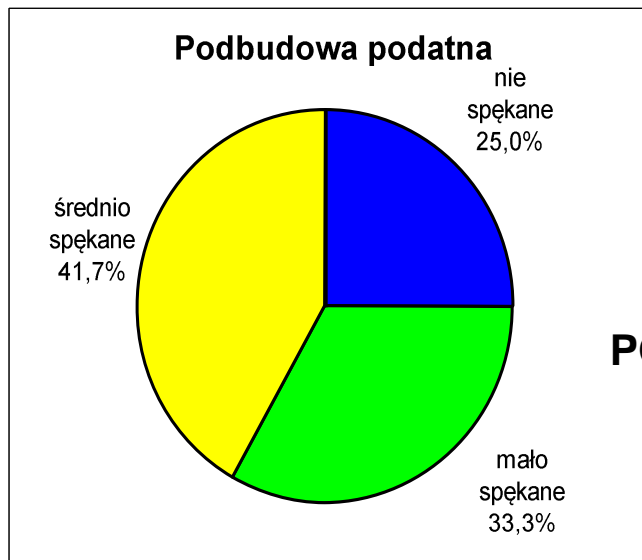
# INTENSYWNOŚĆ SPĘKAŃ NISKOTEMPERATUROWYCH



**PODLASKIE**



**WARMIŃSKO - MAZURSKIE**



**POMORSKIE**



- **W przeszłości stosowano miękkie asfalty D70, ale spękania niskotemperaturowe występują**
- **Najwięcej spękań niskotemperaturowych w woj. podlaskim**
  - tylko 7% badanych odcinków bez spękań niskotemperaturowych (poniżej 2 na 1 km)
  - 7% ma ponad 50 spękań na 1 km
- **Więcej spękań na starych nawierzchniach (sztywne i kruche)**
- **Więcej spękań przy sztywnych warstwach asfaltowych (większe naprężenia termiczne)**



- **Wpływ rodzaju asfaltu na odporność na spękania niskotemperaturowe okazał się istotny we wszystkich zastosowanych metodach badawczych**
- **Wyniki badań pełzania wykazały wyraźny wpływ niskiej temperatury na wszystkie analizowane cechy reologiczne zarówno betonu asfaltowego BA jak i mastyksu grysowego SMA**
- **Zastosowany model reologiczny Burgersa pozwolił na uzyskanie dużej zgodności wyników doświadczeń z opisem teoretycznym modelu**



- **W badaniu TSRST niższe temperatury pęknięcia uzyskały betony asfaltowe z asfaltami bardziej miękkimi (o wyższej penetracji), mniej wrażliwe termicznie (o wyższym indeksie penetracji)**
- **Z porównania naprężeń termicznych zbadanych metodą laboratoryjną TSRST oraz obliczonych metodą analityczną uzyskano dość dobrą zgodność wyników obliczeń z wynikami badań laboratoryjnych**
- **Z badań terenowych wynika, że więcej spękań stwierdzono na starych nawierzchniach (sztywne i kruche)**

---

**Dziękuję za uwagę !**

