

Bydgoszcz 2023-07-12

## PROTOKÓŁ Z BADAŃ

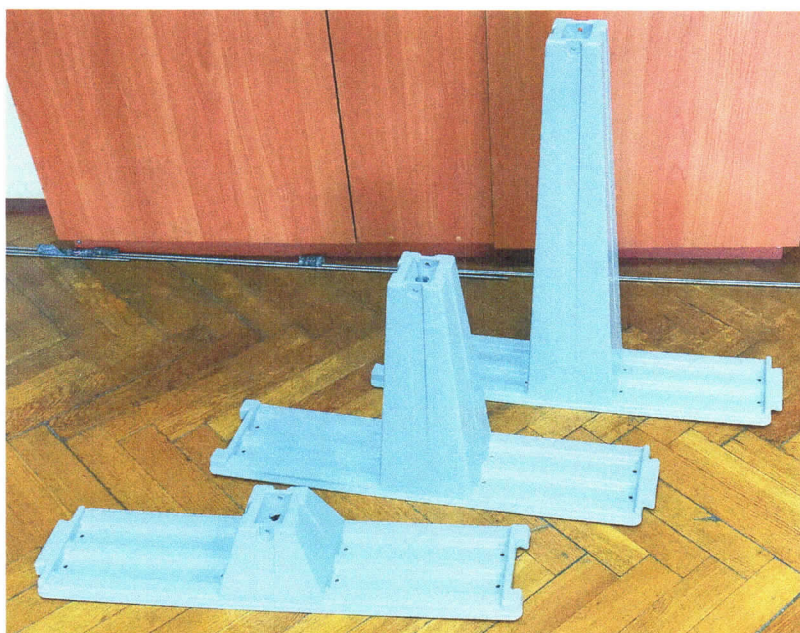
### „Badanie wytrzymałości głowicy tworzywowej podstawy mocowania paneli fotowoltaicznych”

#### 1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań było określenie wytrzymałości tworzywowych podstaw służących do mocowania do nich paneli fotowoltaicznych. Próbki do badań będące całymi podstawami o trzech różnych wysokościach dostarczone zostały przez Zamawiającego, firmę Nomiflex Sp. Z o.o., ul. Olszewskiego 6, 25-663 Kielce.

#### 2. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie trzech wielkości: wartości sił powodujących zniszczenie połączenia zawleczonej mocującej aluminiową szynę do głowicy dostarczonych podstaw, energii niszczenia udarowego oraz wykonanie dynamicznej analizy mechanicznej (DMA). Podstawy przedstawione zostały na rysunku 1.



Rys. 1. Przedmiot badań, tworzywowe podstawy



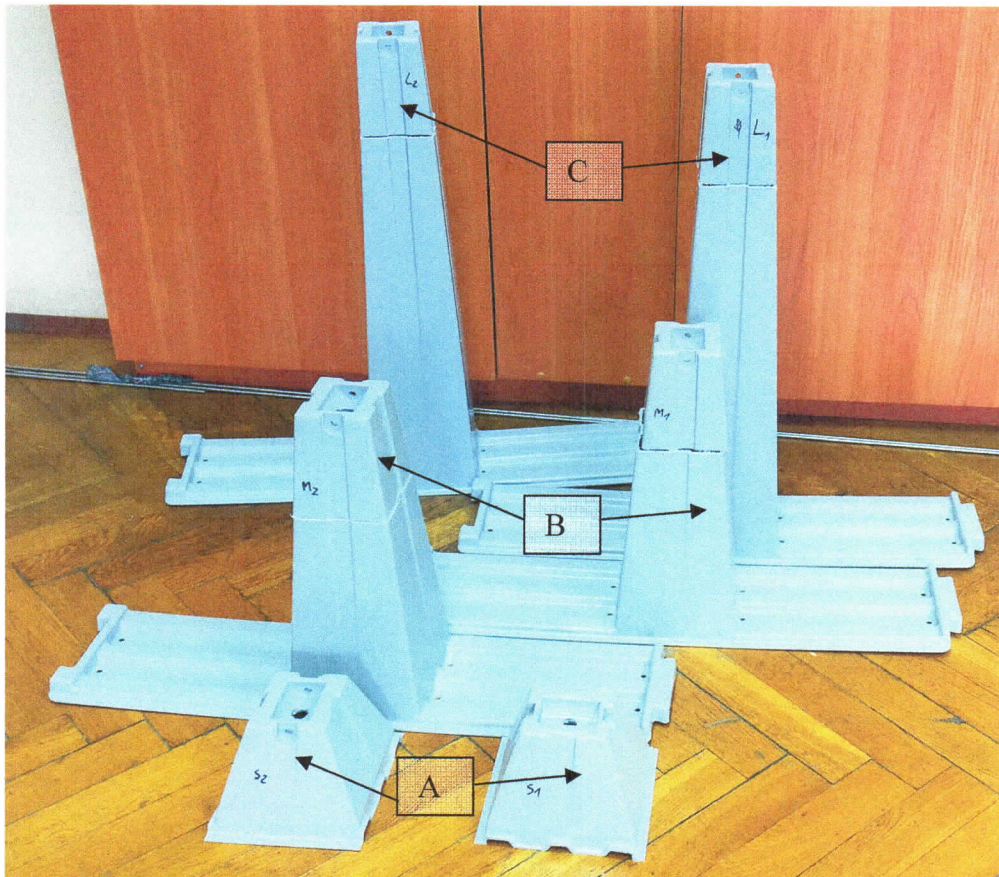
Zamawiający dostarczył do badań w sumie sześć próbek, po dwie próbki dla trzech różnych wysokości. Pomimo trzech różnych wysokości, kształt i wymiary głowicy mocującej szynę aluminiową za pomocą zawleczeni był jednakowy dla trzech rodzajów podstaw.

Badania podzielone zostały na dwa etapy. Pierwszy etap polegał na przebadaniu próbek dostarczonych przez zamawiającego w terminie kilku dni od ich wytworzenia. Drugi etap polegał na przebadaniu w ten sam sposób kolejnej partii próbek, ale poddanych starzeniu w komorze klimatycznej.

### **3. Metodyka badań**

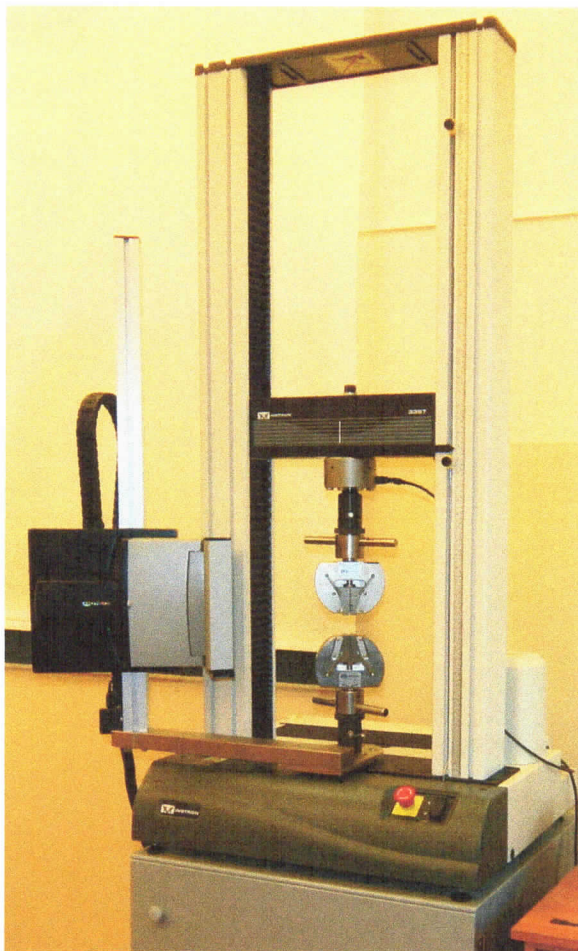
Badanie niszczące wytrzymałości na rozciąganie, udarności przeprowadzone zostało na sześciu próbkach, które zostały odpowiednio przygotowane do montażu na maszynie wytrzymałościowej oraz umieszczeniu w młocie udarnościowym. Zgodnie z ustaleniami z Zamawiającym tworzywowe podstawy zostały przecięte, i wykorzystane zostały do badań górnej części z głowicą mocującą. Przecięcie podstaw było na wysokości około 120 mm. Próbki oznaczone zostały odpowiedni: A- najkrótsza, B- średnia, C- najdłuższa. Przygotowane próbki przedstawiono na rysunku 2. Próbki do badania udarności wycinane były z podstawy wytworzonego elementu.





Rys. 2. Podstawy po przycięciu

Badania wytrzymałości na rozciąganie (wyznaczenie siły niszczącej) zostało przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej dwukolumnowej typu 3367 (Instron, USA) o napędzie mechanicznym przedstawionej na rys. 3.

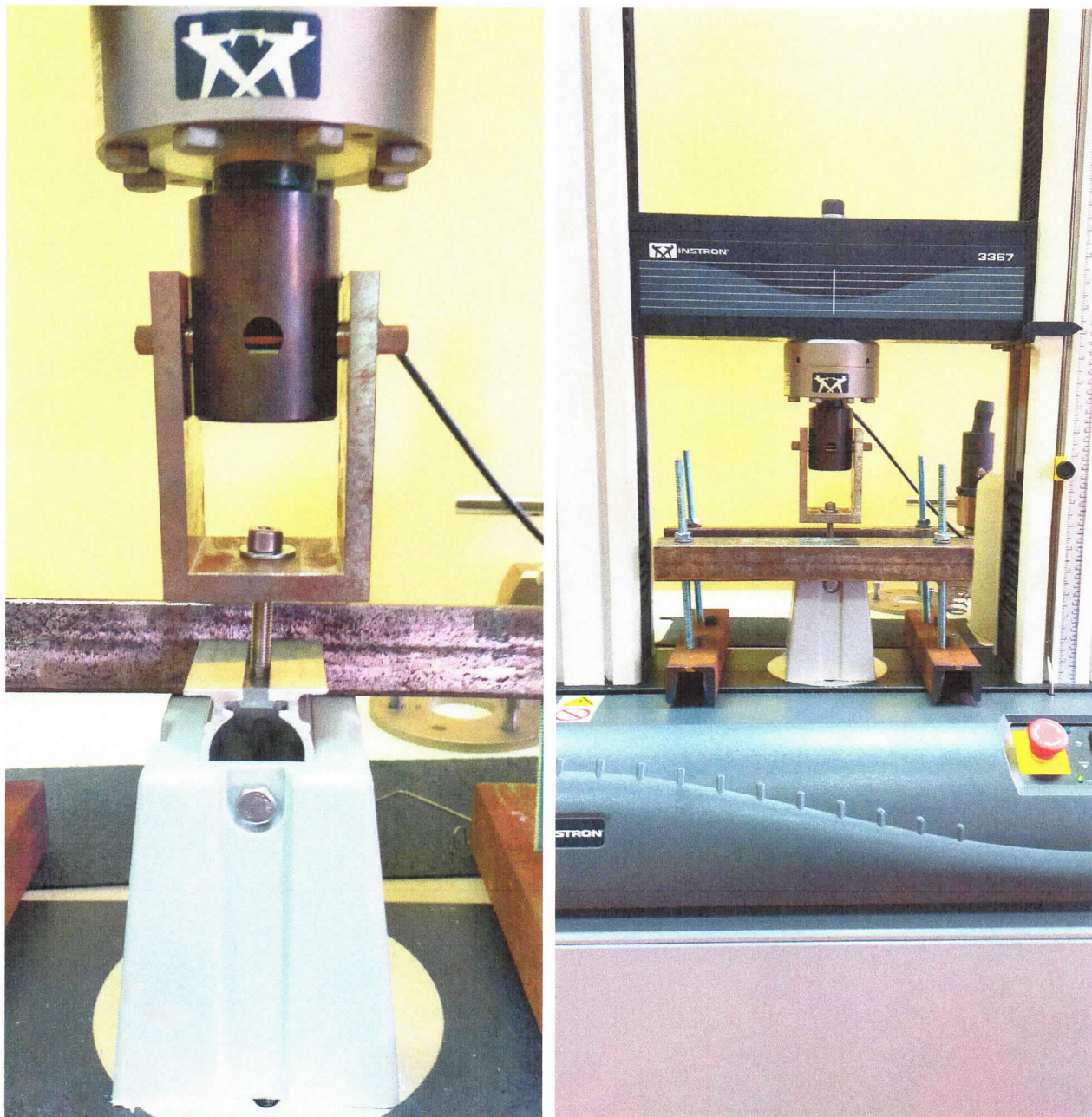


Rys. 3. Maszyna wytrzymałościowa typu 3367 (Instron, USA)

Maszyna jest sterowana przy użyciu komputera wyposażonego w oprogramowanie Bluehill 2. Oprogramowanie to umożliwia rejestrację wyników w pamięci komputera oraz wszechstronną analizę i prezentację wyników pomiarów. Aparatura ta umożliwia obciążanie próbek z maksymalną siłą rozciągającą lub ściskającą wynoszącą 30 kN, przy szybkości obciążania regulowanej płynnie w zakresie od 0 do 500 mm/min.

Z uwagi na to, że badane były konkretne wyroby gotowe, konieczne było przygotowanie dodatkowych elementów umożliwiających zamocowanie nienormatywnych elementów do podstawy maszyny wytrzymałościowej. Elementy mocujące wykonane zostały ze stalowych ceowników gorącowalcowanych o szerokości 50 mm. Sposób mocowania próbek przedstawiono na rysunkach 4 i 5.





Rys. 4, 5. Sposób mocowania próbek

Próbki mocowane były w sposób aby zapewnić obciążanie siłą skierowaną pionowo wzdłuż osi maszyny wytrzymałościowej, i w taki sposób aby szyna aluminiowa nie miała styczności z elementami mocującymi.

Badanie udarności metodą Charpy'ego przeprowadzono za pomocą młota udarnościowego XJ 5Z (Liangong, Chiny) (rys. 6).



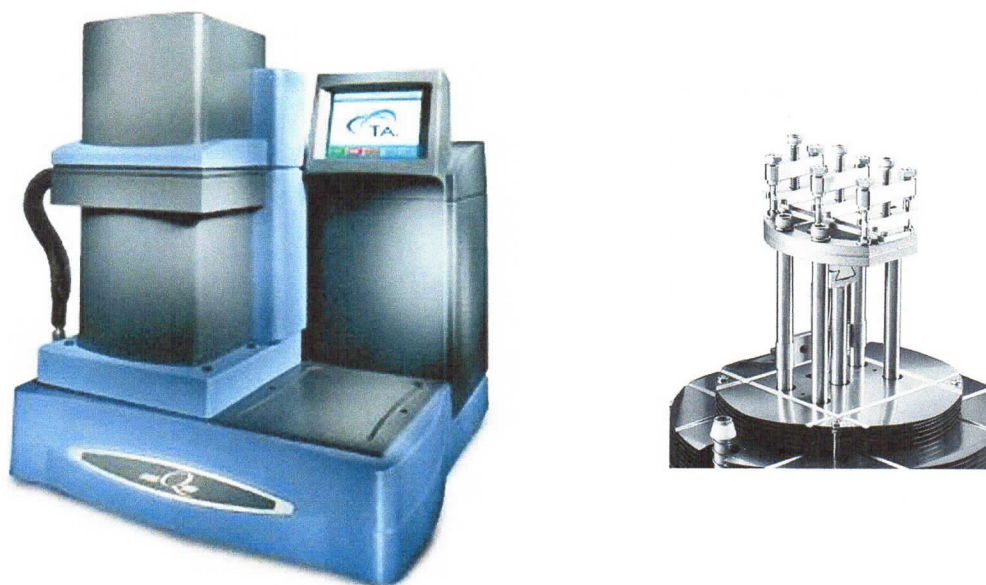


Rys. 6. Młot udarowościowy XJ 5Z (Liangong, Chiny) oraz usytuowanie w nim próbki (po prawej)

W badaniach wykorzystano młot o energii uderzenia 2 J z szybkością opadania 2.9 m/s. Badaniom poddano próbki w postaci beleczek o wymiarach ok. 100 x 10 x 2 mm (rys. 6 – po prawej). W ramach badania wyznaczono wartość udarności bez karbu ( $a_u$ ).

Badania dynamicznej analizy mechanicznej (DMA) wykonano przy użyciu aparatu Q800 (TA Instruments, USA) stosując różne wartości temperatury od wartości pokojowej do 80°C, oraz różne wartości częstotliwości (1, 10, 50 oraz 100 Hz) odkształcenia przy oscylacyjnym zginaniu trójpunktowy, przy czym amplituda odkształceń wynosiła 15  $\mu\text{m}$ . Zastosowaną aparaturę oraz uchwyty przedstawiono na rys. 7.





Rys. 7. Analizator Q800 (po lewej), zastosowane uchwyty zginania trójpunktowego (po prawej)

Proces przyspieszonego starzenia został przeprowadzony w komorze klimatycznej CCK 40/300NG (Dycometal, Hiszpania) (rys. 8) w temperaturze 70°C, wilgotności względnej 70% RH i promieniowaniu UV przez 1440h (2 miesiące). Zastosowany czas starzenia odpowiada okresowi ok 10 lat normalnego użytkowania.



Rys. 8. Komora klimatyczna CCK 40/300NG (Dycometal, Hiszpania)

#### **4. Wyniki badań próbek nie poddanych starzeniu**

##### **4.1. Wytrzymałość na rozciąganie**

Wszystkie próby wytrzymałościowe przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej przeprowadzone zostały z prędkością obciążania wynoszącą 20 mm/min. Zniszczenie wszystkich próbek miało miejsce w tworzywowej głowicy w punkcie mocowania zawlecarki mocującej szynę aluminiową.

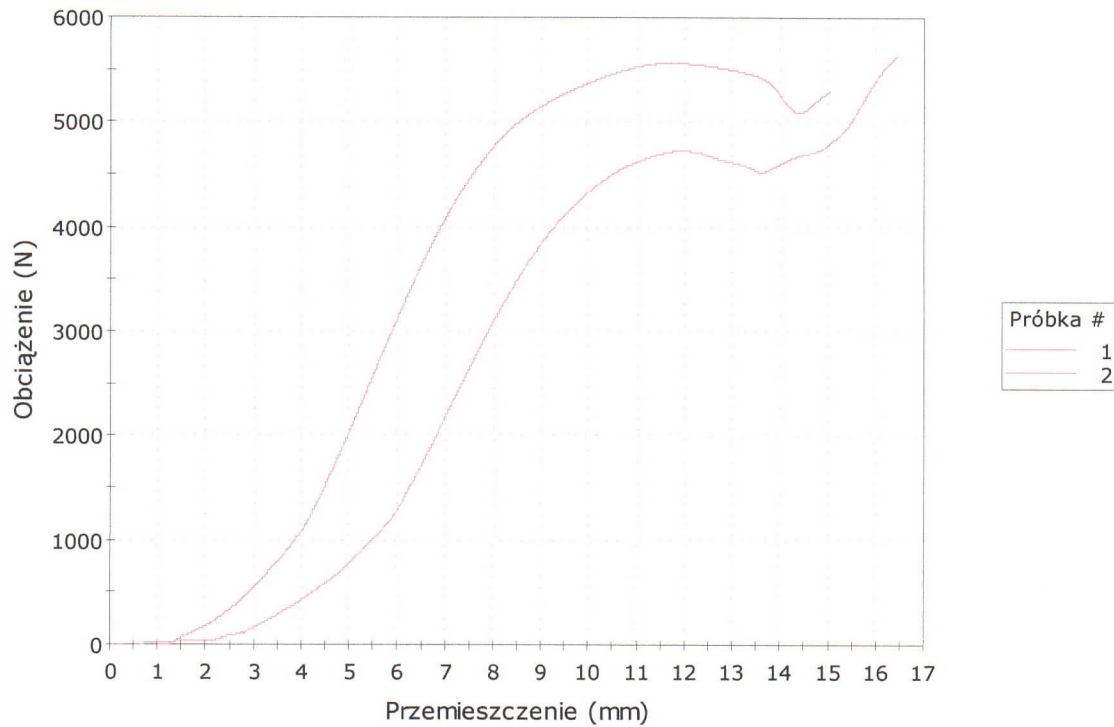
Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

- **Próba A – najniższa podstawa** (oznaczenie na próbce S):

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne	Wydłużenie

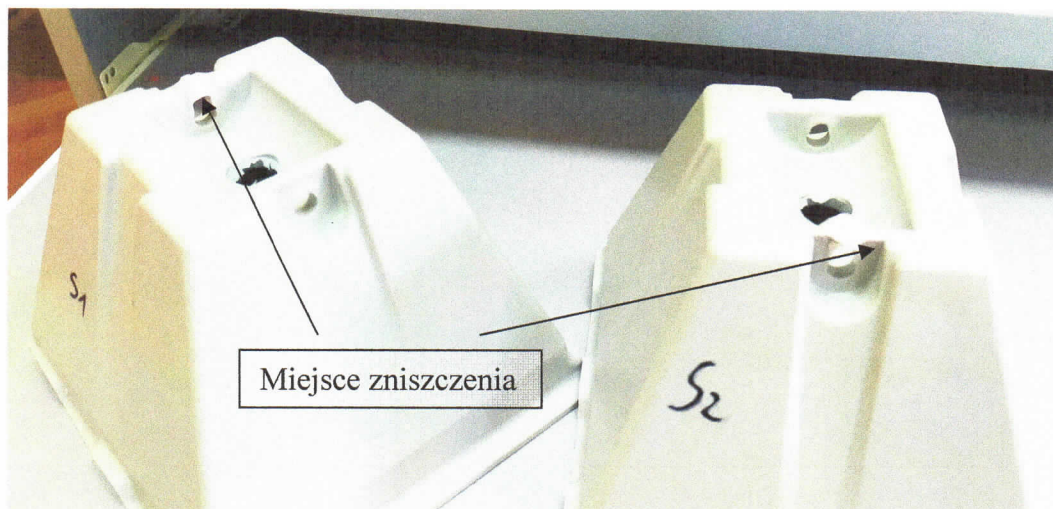


		(N)	(mm)
1	S1	4 723,17	11,24
2	S2	5 561,66	10,66
<b>Średnia</b>		<b>5142,42</b>	<b>10,95</b>



Rys. 9. Wykres rozciągania dla próby A

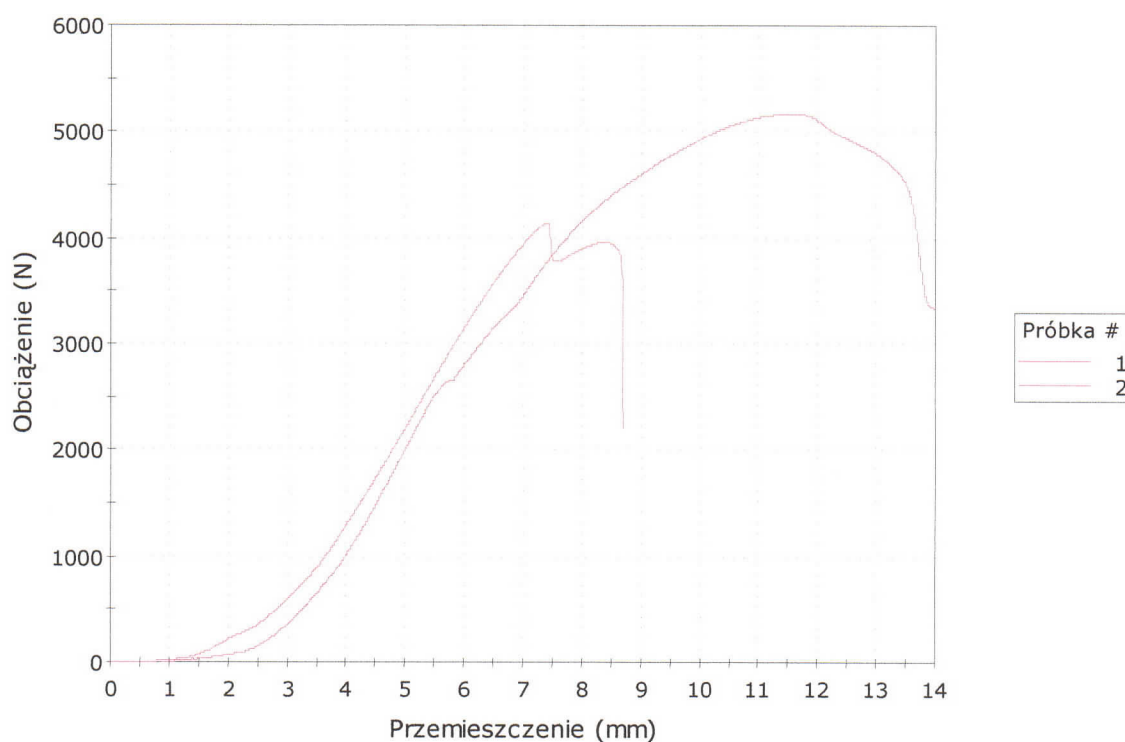
Próbki dla tej próby po zniszczeniu przedstawiono jest na rys 10.



Rys. 10. Próba A, próbki po zniszczeniu

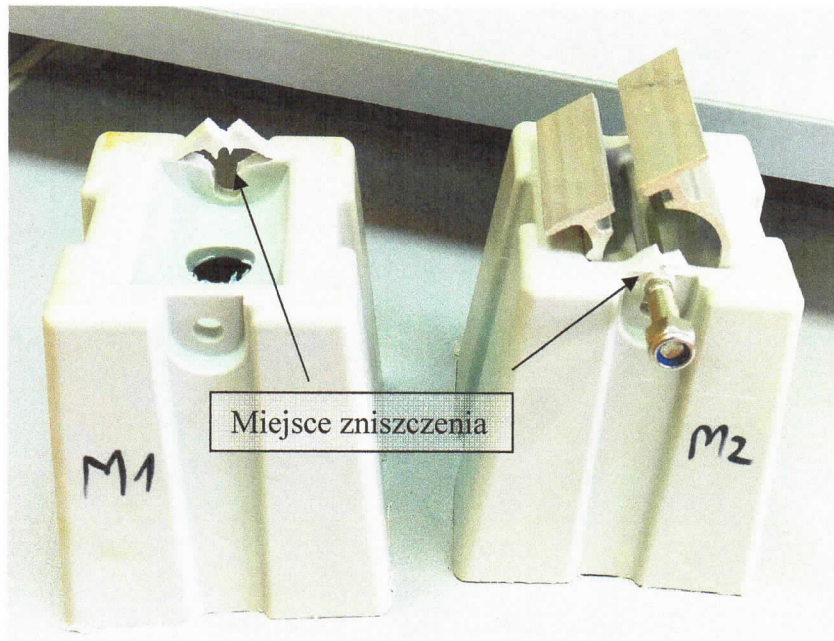
- **Próba B – średnia podstawa (oznaczenie na próbce M):**

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne (N)	Wydłużenie (mm)
1	pr1	4 137,07	7,13
2	pr2	5 166,21	10,65
<b>Średnia</b>		<b>4651,64</b>	<b>8,89</b>



Rys. 11. Wykres rozciągania dla próby B

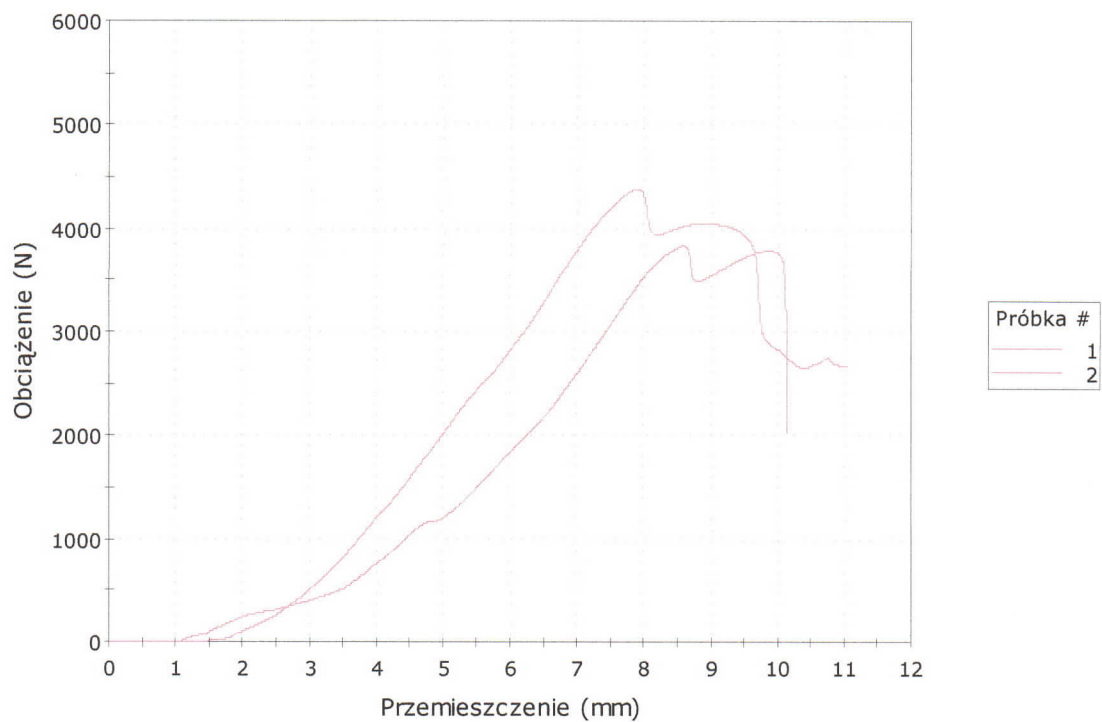




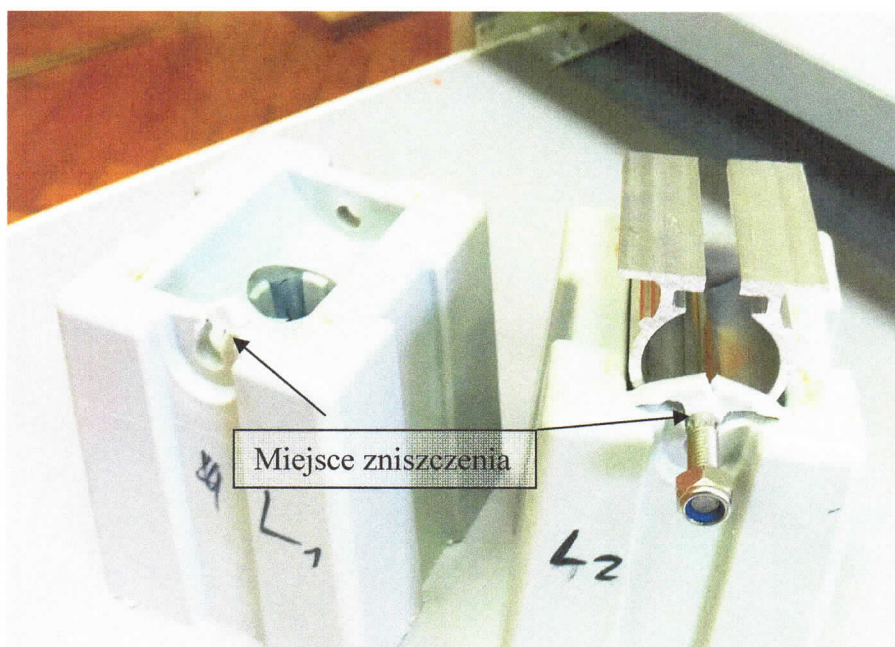
Rys. 12. Próba B, próbki po zniszczeniu

- Próba C – najwyższa podstawa (oznaczenie na próbce L):

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne (N)	Wydłużenie (mm)
1	pr1	4 385,39	6,54
2	pr2	3 831,60	7,68
<b>Średnia</b>		<b>4108,5</b>	<b>7,11</b>



Rys. 13. Wykres rozciągania dla próby C



Rys. 14. Próba C, próbki po zniszczeniu





#### 4.2. Udarność

Wszystkie próby udarności przeprowadzone na młocie udarnościowym przeprowadzone zostały z prędkością opadania młota 2.9 m/s. Podczas badania wszystkie próbki ulegały pęknięciu.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

- **Próba A – najniższa podstawa :**

Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
A_1	29,99
A_2	27,11
A_3	28,35
A_4	26,93
A_5	22,42
A_6	26,55
<b>Średnia</b>	<b>26,89</b>

- **Próba B – średnia podstawa :**

Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
B_1	27,36
B_2	32,23
B_3	29,23
B_4	30,92
B_5	24,31
B_6	27,67
<b>Średnia</b>	<b>28,62</b>

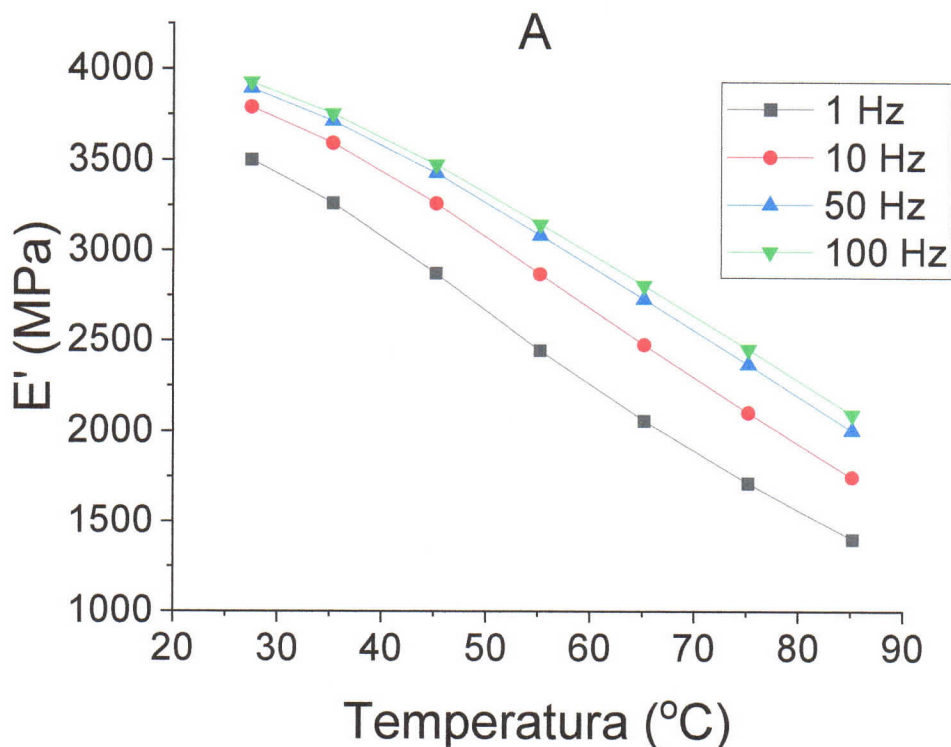
- **Próba C – najwyższa podstawa :**

Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
C_1	34,02
C_2	59,34
C_3	57,25
C_4	35,19
C_5	43,53
C_6	56,65
<b>Średnia</b>	<b>47,66</b>

#### 4.3. Dynamiczna analiza mechaniczna (DMA)

Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

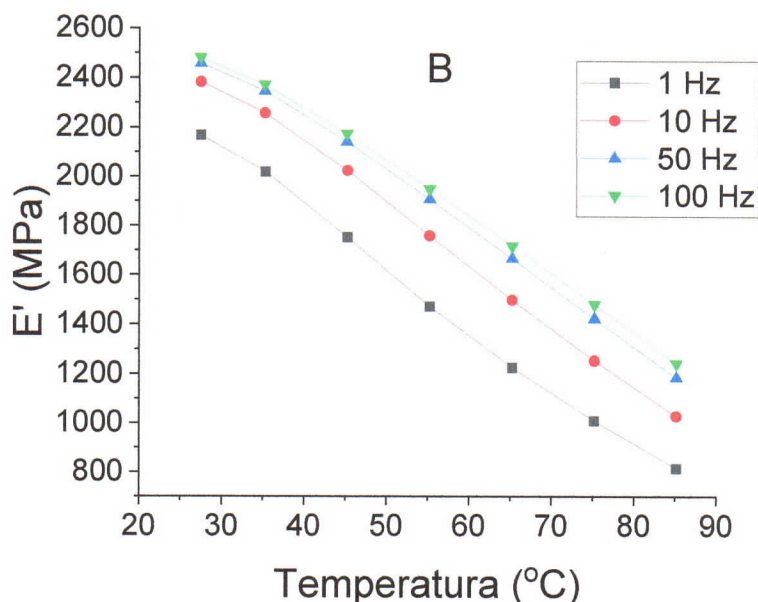
- Próba A – najniższa podstawa :



Rys. 15. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki A odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

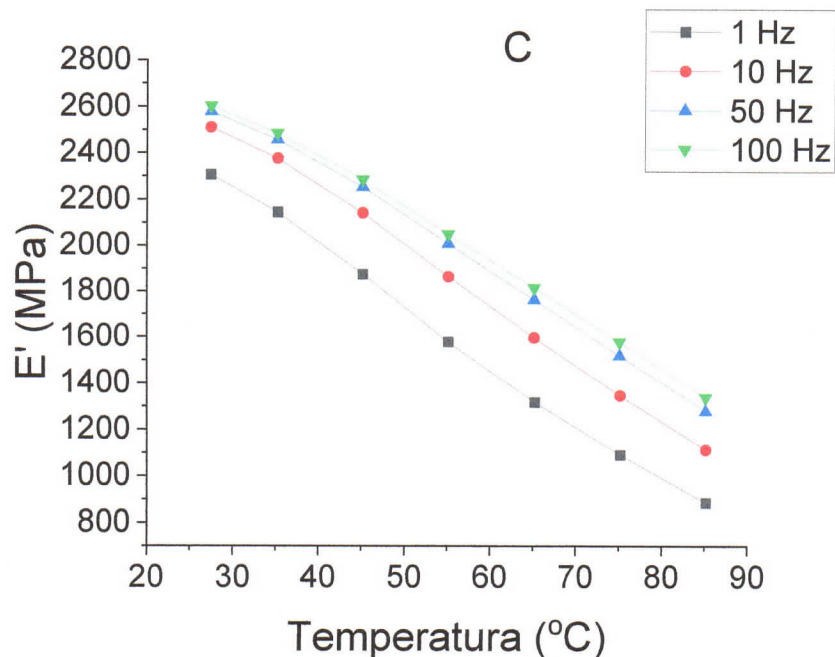


- Próba B – średnia podstawa :



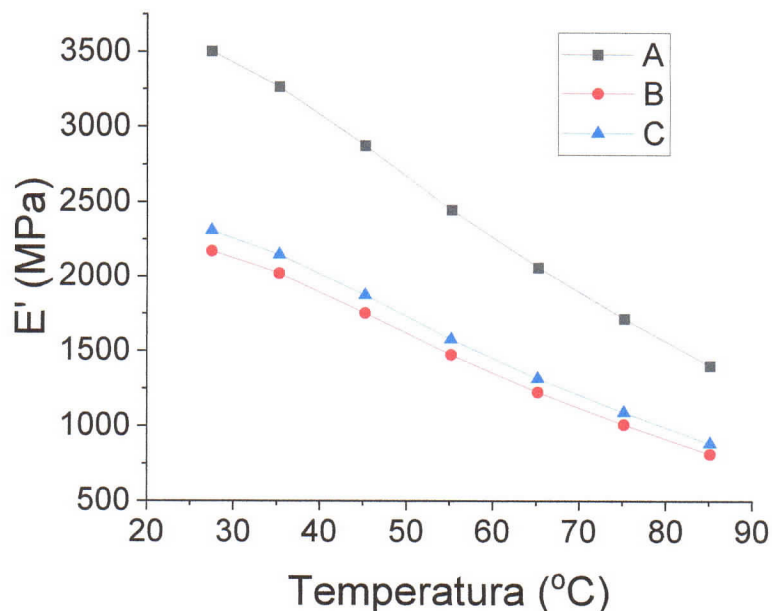
Rys. 16. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki B odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

- Próba C – najwyższa podstawa :

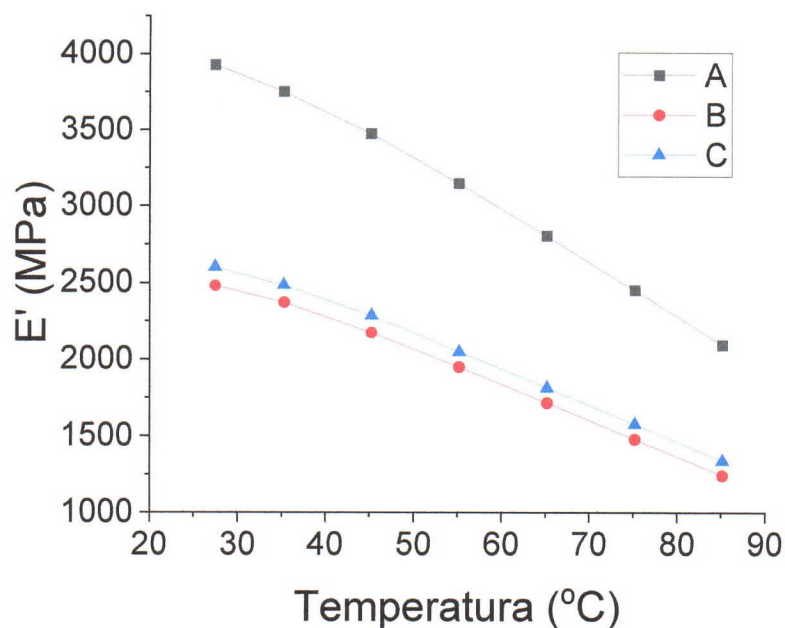


Rys. 17. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki C odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

Natomiast na wykresie 18 i 19 przedstawiono porównanie próbek A, B i C, odpowiednio dla częstotliwości 1 Hz i 100 Hz.



Rys. 18. Moduł sprężystości (E') próbek A,B i C odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 1 Hz



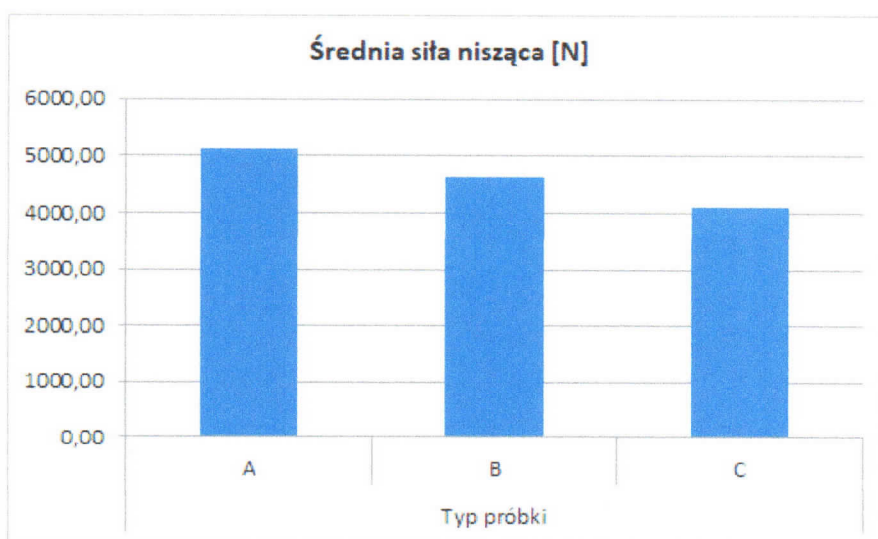
Rys. 19. Moduł sprężystości (E') próbek A,B i C odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 100 Hz



## 5. Wnioski z badania próbek niestarzonych

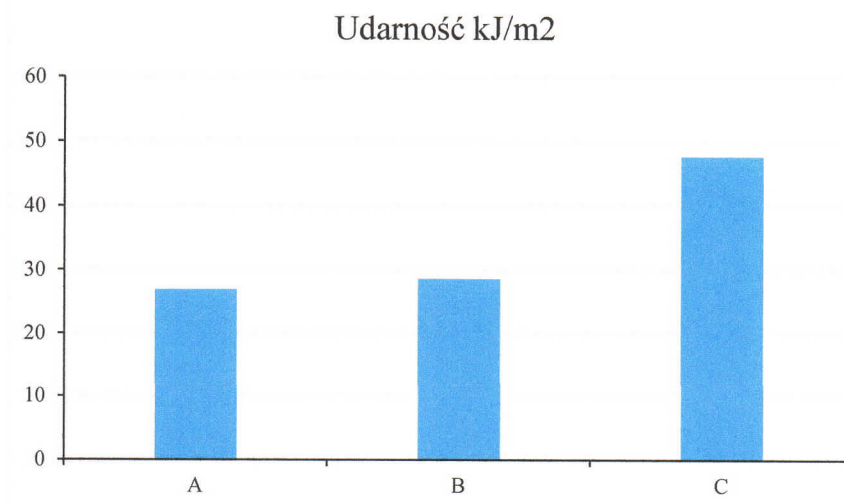
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- Największą wytrzymałością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najniższych podpór, typ A. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **5142,42 N**.
- Najmniejszą wytrzymałością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najwyższych podpór, typ C. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **4108,5 N**.
- Średnią wytrzymałością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane ze średnich podpór, typ B. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **4651,64 N**.
- Najwyższym pojedynczym wynikiem jaki uzyskano była wartość siły wynosząca **5 561,66 N** dla próbki wyciętej z najniższej podstawy, typ A.
- Różnice pomiędzy średnią wytrzymałością podpór średnich, typ B oraz najniższych, typ A i najwyższych, typ C, procentowo wynoszą odpowiednio 9,5 % (różnica między wartością średnią a maksymalną) oraz 13,2 % (różnica między wartością średnią a minimalną), co odpowiada wartości bezwzględnej siły odpowiednio: 490 N i 543 N. Wyniki te przedstawiono za na wykresie, rys 20.



Rys. 20. Wartości średnie sił niszczących badane złącze próbek niestarzonych

- Największą udarnością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najniższych podpór, typ C. Uzyskano średnią wartość na poziomie **47,66 kJ/m<sup>2</sup>**.
- Najmniejszą udarnością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najwyższych podpór, typ A. Uzyskano średnią wartość na poziomie **26,89 kJ/m<sup>2</sup>**.
- Średnią udarnością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane ze średnich podpór, typ B. Uzyskano średnią wartość na poziomie **28,62 kJ/m<sup>2</sup>**.
- Różnice pomiędzy średnią udarnością podpór średnich, typ B oraz najniższych, typ A i najwyższych, typ C, procentowo wynoszą odpowiednio 40,0 % (różnica między wartością średnią a maksymalną) oraz 6,0 % (różnica między wartością średnią a minimalną), co odpowiada wartości bezwzględnej odpowiednio: 1,73 kJ/m<sup>2</sup> i 19,04 kJ/m<sup>2</sup>. Wyniki te przedstawiono za pomocą wykresu słupkowego na rys 21.



Rys. 20. Wartości średnie udarności

- Wyniki badań DMA wskazują, że próbka A ma znacząco większe wartości modułu sprężystości ( $E'$ ) niż próbki B i C, zwłaszcza w zakresie niższych wartości temperatury.
- Wraz ze wzrostem częstotliwości odkształcania materiał przejawiał większą sztywność/sprężystość, natomiast wzrost temperatury powodował jej zmniejszenie.
- W częstotliwości 1 Hz wraz ze wzrostem temperatury do 80 °C moduł sprężystości próbki A spada z 3500 MPa do około 1400 MPa, próbki B z 2200 MPa do około 800 MPa, a próbki C z 2300 MPa do około 800 MPa.





- W częstotliwości 100 Hz wraz ze wzrostem temperatury do 80 °C moduł sprężystości próbki A spada z 4000 MPa do około 2000 MPa, próbki B z 2500 MPa do około 1200 MPa, a próbki C z 2600 MPa do około 1300 MPa.
- Należy stwierdzić, że przebiegi dla próbek B i C są bardzo podobne, natomiast próbka A charakteryzuje się istotnie większym modułem sprężystości.
- Wraz ze wzrostem temperatury, moduł sprężystości maleje, a różnice w wartościach modułu sprężystości poszczególnych próbek stają się mniej zróżnicowane niż w temperaturze około 25 °C.

## 6. Wyniki badań próbek poddanych starzeniu

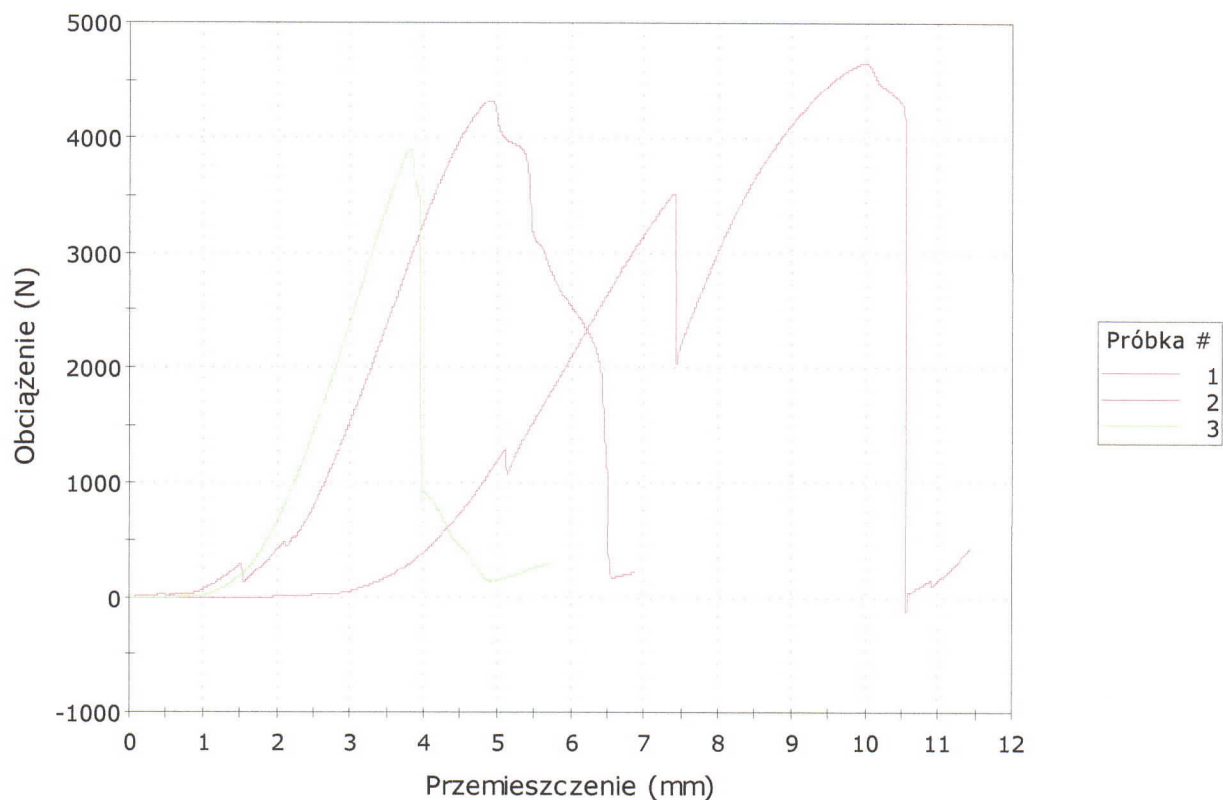
### 6.1. Wytrzymałość na rozciąganie

Próby wytrzymałościowe próbek poddanych starzeniu przeprowadzone zostały w taki sam sposób jak próbek niestarzonych. W tym przypadku badaniu poddane zostały po trzy próbki dla każdej próby. Zniszczenie wszystkich próbek miało miejsce w tworzywowej głowicy w punkcie mocowania zawleczonej mocującej szynę aluminiową.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

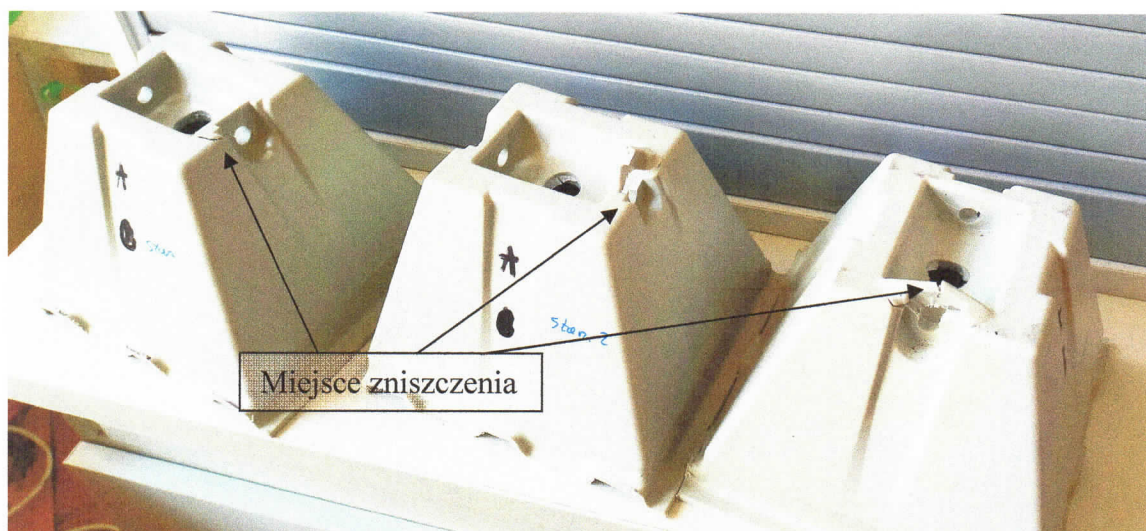
- **Próba A – najniższa podstawa :**

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne (N)	Wydłużenie (mm)
1	P1	4 649,20	8,17
2	P2	4 324,85	4,85
3	P3	3 908,46	3,21
<b>Średnia</b>		<b>4294,17</b>	<b>5,41</b>



Rys. 22. Wykres rozciągania dla próby A starzonej

Próbki dla tej próby po zniszczeniu przedstawiono jest na rys 23.



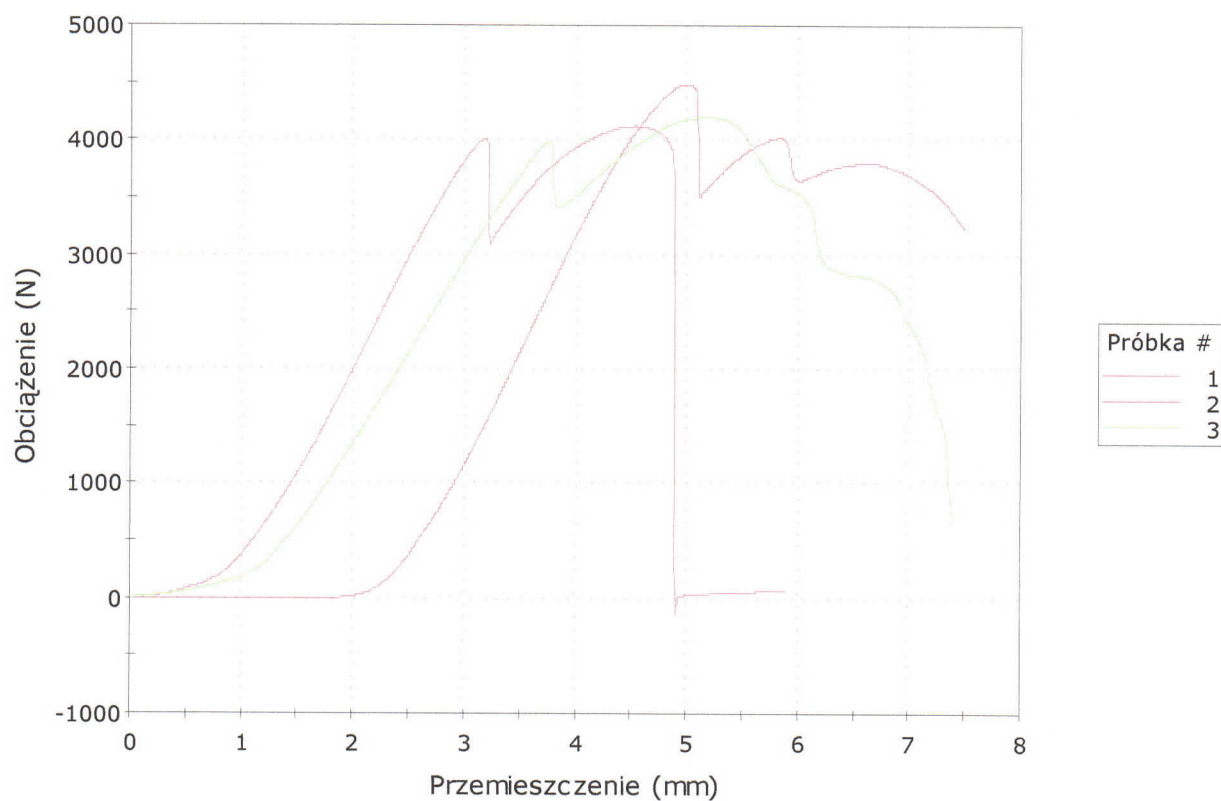
Rys. 23. Próba A po starzeniu, próbki po zniszczeniu

Uskok widoczny na wykresie dla próbki 1 wynikał z niedoskonałości montażu, śruba

montażowa przy wysokim obciążeniu przesunęła się w kształtowniku.

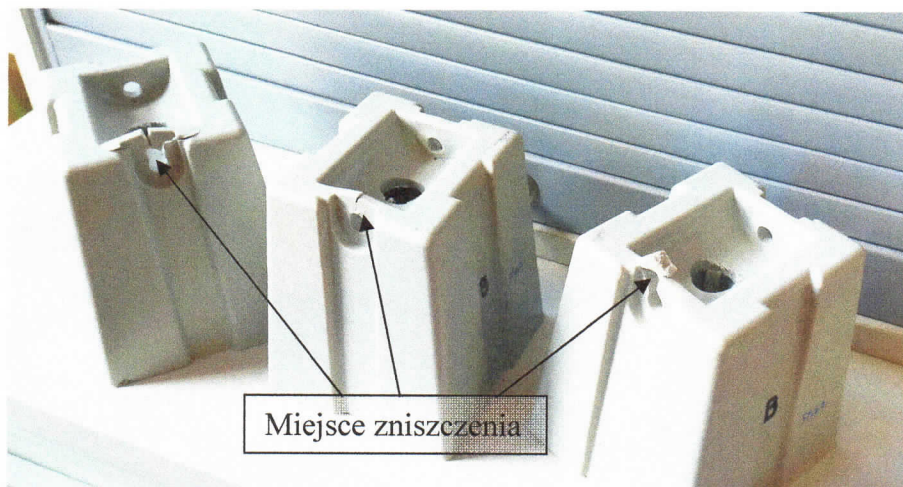
**Próba B – średnia podstawa:**

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne (N)	Wydłużenie (mm)
1	P1	4004,01	3,17
2	P2	4474,99	3,15
3	P3	3980,18	3,75
<b>Średnia</b>		<b>4153,06</b>	<b>3,16</b>



Rys. 24. Wykres rozciągania dla próby B starzonej

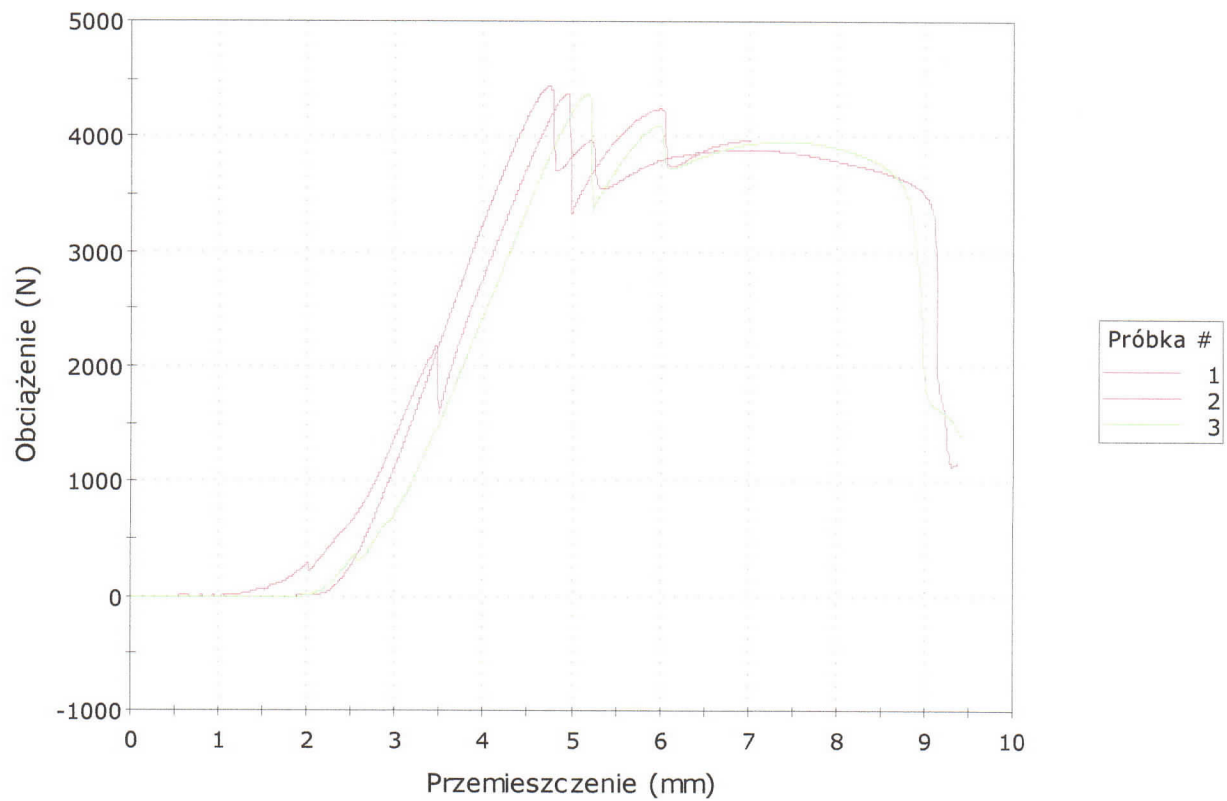




Rys. 25. Próba B po starzeniu, próbki po zniszczeniu

- **Próba C – najwyższa podstawa** (oznaczenie na próbce L):

	Etykieta próbki	Obciążenie maksymalne (N)	Wydłużenie (mm)
1	P1	4 373,72	4,95
2	P2	4 441,47	4,74
3	P3	4 364,23	5,18
<b>Średnia</b>		<b>4 393,14</b>	<b>4,96</b>



Rys. 26. Wykres rozciągania dla próby C starzonej



Rys. 27. Próba C po starzeniu, próbki po zniszczeniu



## 6.2. Udarność

Wszystkie próby udarności przeprowadzone na młocie udarnościowym przeprowadzone zostały z prędkością opadania młota 2.9 m/s. Podczas badania wszystkie próbki ulegały pęknięciu.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

- **Próba A – najniższa podstawa** (oznaczenie na próbce S):

Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
A_1	22,84
A_2	22,54
A_3	19,30
A_4	25,82
A_5	24,8
A_6	25,43
<b>Średnia</b>	<b>23,46</b>

- **Próba B – średnia podstawa** (oznaczenie na próbce M):

Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
B_1	25,73
B_2	24,23
B_3	24,63
B_4	25,76
B_5	26,56
B_6	24,77
<b>Średnia</b>	<b>25,28</b>

- **Próba C – najwyższa podstawa** (oznaczenie na próbce L):

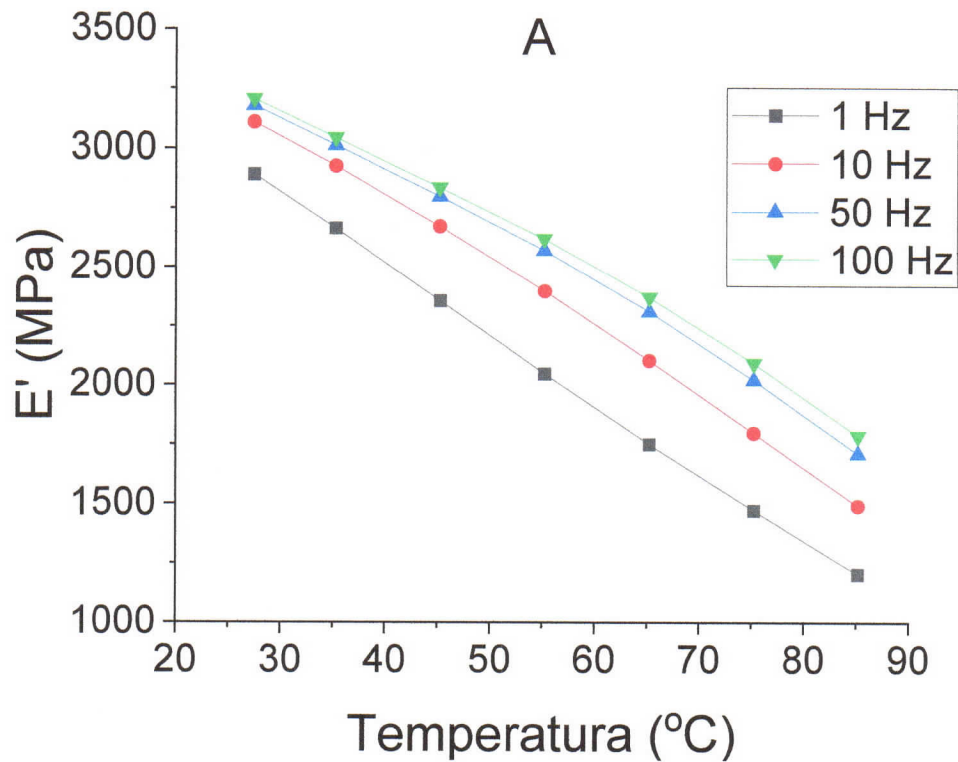
Próbka	Udarność (kJ/m <sup>2</sup> )
C_1	22,52
C_2	36,96
C_3	41,82
C_4	29,58
C_5	20,36
C_6	26,44
<b>Średnia</b>	<b>29,61</b>



### 6.3. Dynamiczna analiza mechaniczna (DMA)

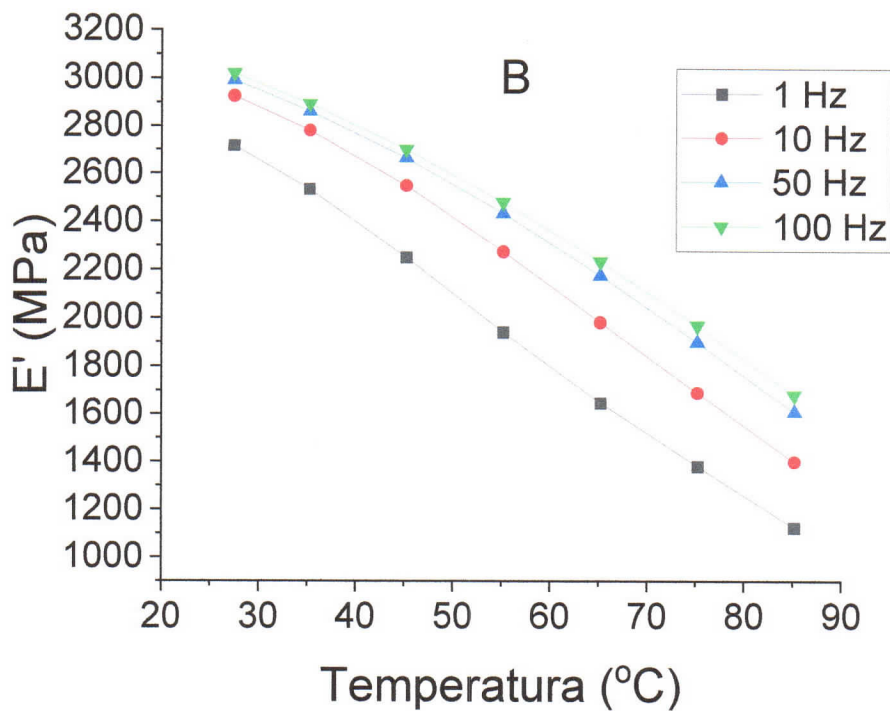
Uzyskane wyniki badań przedstawiono kolejno, jako następujące próby badawcze.

- Próba A – najniższa podstawa:



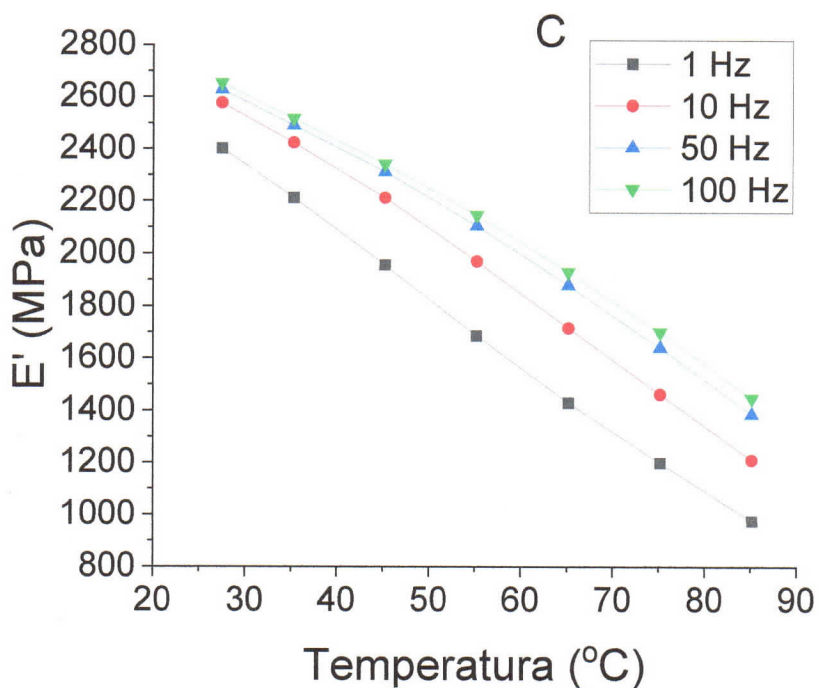
Rys. 28. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki A odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

- Próba B – średnia podstawa :



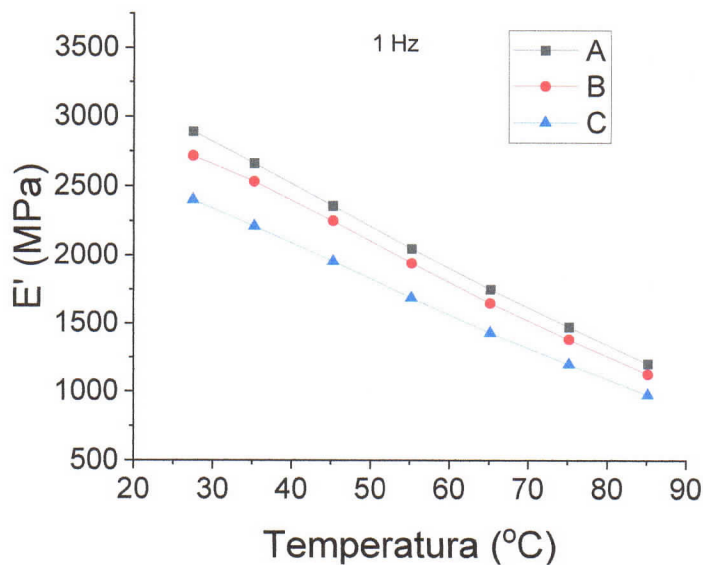
Rys. 29. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki B odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

- Próba C – najwyższa podstawa:



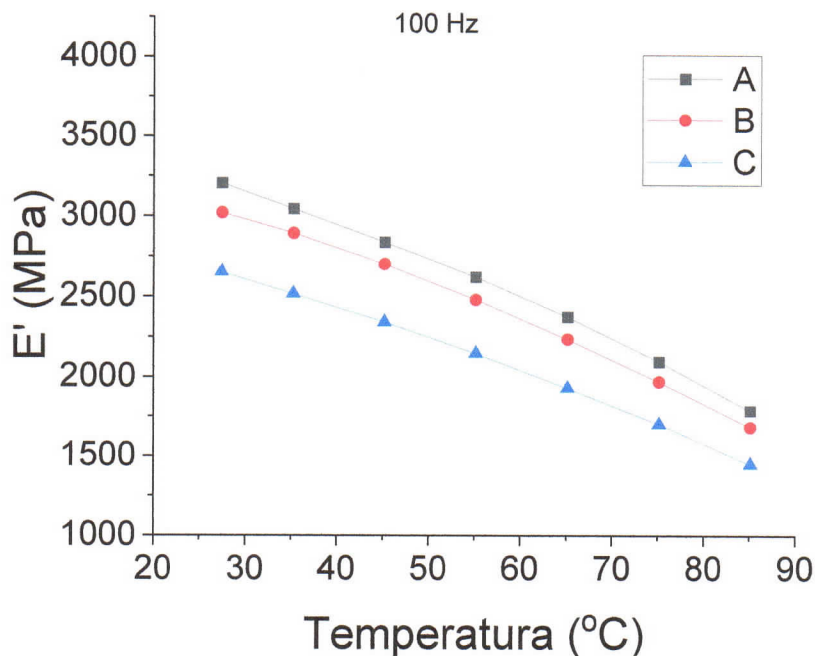
Rys. 30. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbki A odkształcanej w różnej temperaturze i z różną częstotliwością

Natomiast na wykresie 18 i 19 przedstawiono porównanie próbek A, B i C, odpowiednio dla częstotliwości 1 Hz i 100 Hz.



Rys. 31. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbek A, B i C odkształcanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 1 Hz





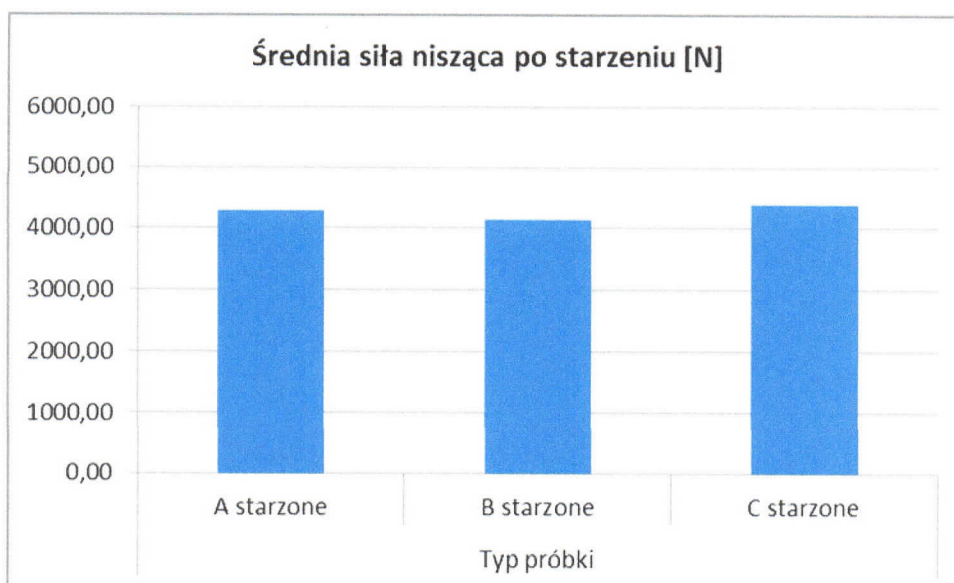
Rys. 32. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbek A,B i C odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 100 Hz

## 7. Wnioski z badania próbek starzonych

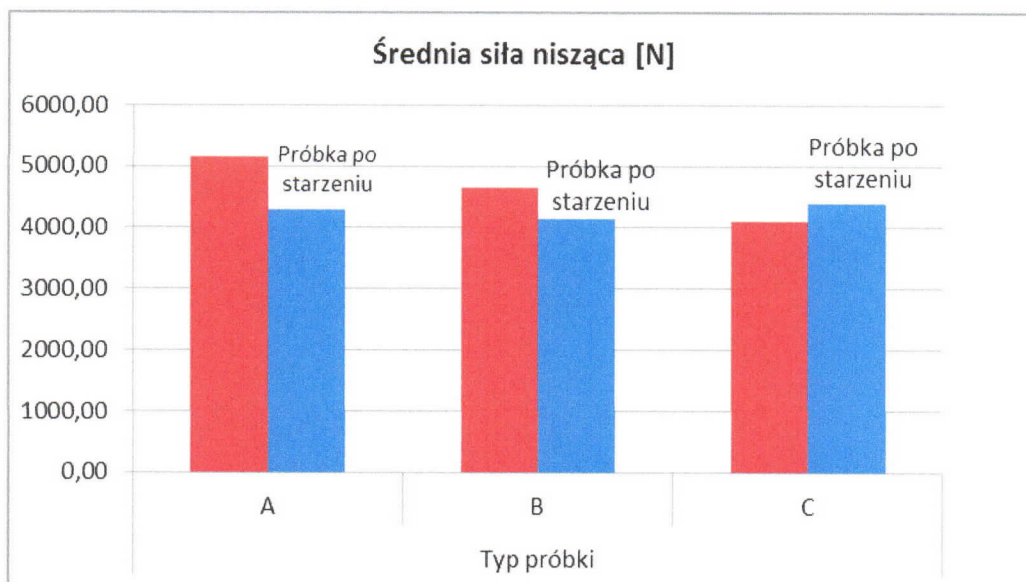
Na podstawie przeprowadzonych badań w ramach etapu drugiego stwierdzono, że:

- Największą wytrzymałością spośród badanych próbek starzonych wykazały się próbki przygotowane z najniższych podpór, typ C. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **4393,14 N**.
- Najmniejszą wytrzymałością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najwyższych podpór, typ B. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **4153,06 N**.
- Średnią wytrzymałością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane ze średnich podpór, typ A. Uzyskano średnią wartość siły niszczącej złącze na poziomie **4294,17 N**.
- Najwyższym pojedynczym wynikiem jaki uzyskano była wartość siły wynosząca **4 649,20 N** dla próbki wyciętej z najniższej podstawy, typ A.

- W przypadku próbek starzonych są mniejsze różnice pomiędzy średnią wytrzymałością podpór średnich, typ A oraz najniższych, typ B i najwyższych, typ C, procentowo wynoszą odpowiednio 2,3 % (różnica między wartością średnią a maksymalną) oraz 3,28 % (różnica między wartością średnią a minimalną). Wyniki te przedstawiono na wykresie, rys 28. Tak małe różnice pomiędzy poszczególnymi typami podpór świadczyć mogą o relaksacji naprężeń wewnętrznych w materiale wskutek procesu starzenia oraz minionego czasu od momentu wytworzenia metodą wtrysku.
- Starzone próbki charakteryzują się także większą kruchością. Świadczy o tym mniejsze wydłużenie przy pęknięciu.
- W przypadku próbki A średnie wydłużenie przy pęknięciu próbki niestarzonej wynosiło **10,95 mm**, natomiast próbki starzonej **5,41 mm**
- W przypadku próbki B średnie wydłużenie przy pęknięciu próbki niestarzonej wynosiło **8,89 mm**, natomiast próbki starzonej **3,16 mm**.
- W przypadku próbki C średnie wydłużenie przy pęknięciu próbki niestarzonej wynosiło **7,11 mm**, natomiast próbki starzonej **4,96 mm**.
- W przypadku próbek A i B spadła wytrzymałość po starzeniu, natomiast dla próbki C wytrzymałość po procesie starzenia wzrosła. Wyniki te przedstawiono na wykresie, rys 29.
- Wytrzymałość próbek A po starzeniu spadła o około **16,5 %**, próbek B po starzeniu spadła o około **10,7 %**. Natomiast wytrzymałość próbek C po starzeniu wzrosła o około **6,93 %**.



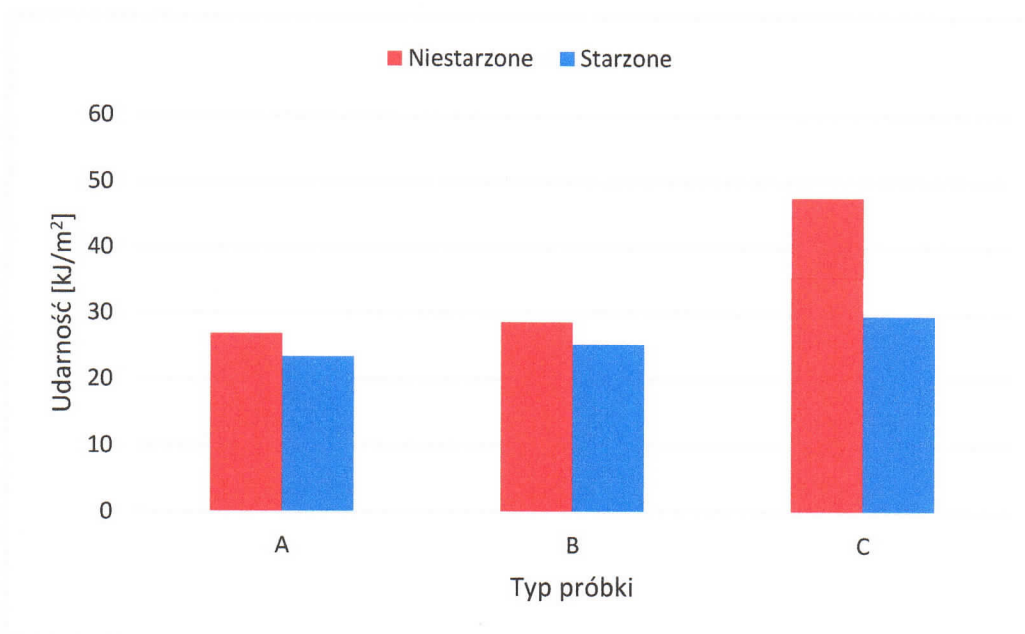
Rys. 33. Wartości średnie sił niszczących badane złącze próbek starzonych



Rys. 34. Wartości średnie sił niszczących badane złącze próbek niestarzonych i starzonych

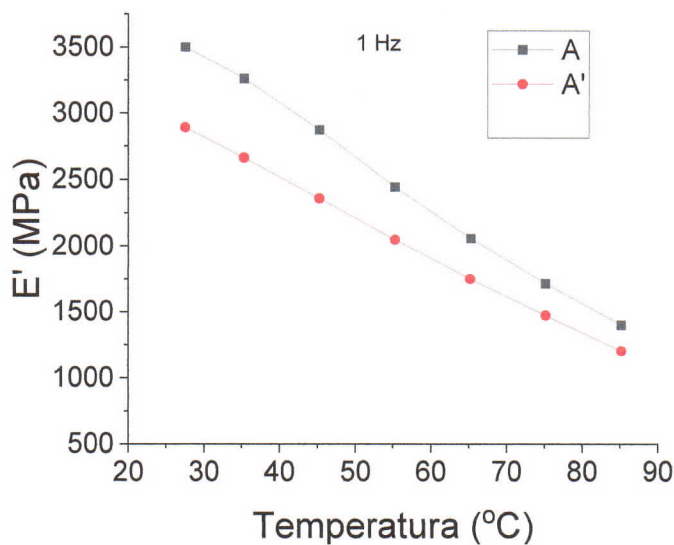
- Największą udarnością spośród starzonych próbek wykazały się próbki przygotowane z najniższych podpór, typ C. Uzyskano średnią wartość na poziomie **29,61 kJ/m<sup>2</sup>**.
- Najmniejszą udarnością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane z najwyższych podpór, typ A. Uzyskano średnią wartość na poziomie **23,46 kJ/m<sup>2</sup>**.
- Średnią udarnością spośród badanych próbek wykazały się próbki przygotowane ze średnich podpór, typ B. Uzyskano średnią wartość na poziomie **25,28 kJ/m<sup>2</sup>**.
- W rezultacie przyspieszonego starzenia udarność wszystkich materiałów uległa obniżeniu (rys. 30).
- Po procesie starzenia udarność próbek A spadła o ok. **13%**, próbek B spadła o ok. **12%**, a próbki C spadła o ok. **38%**.



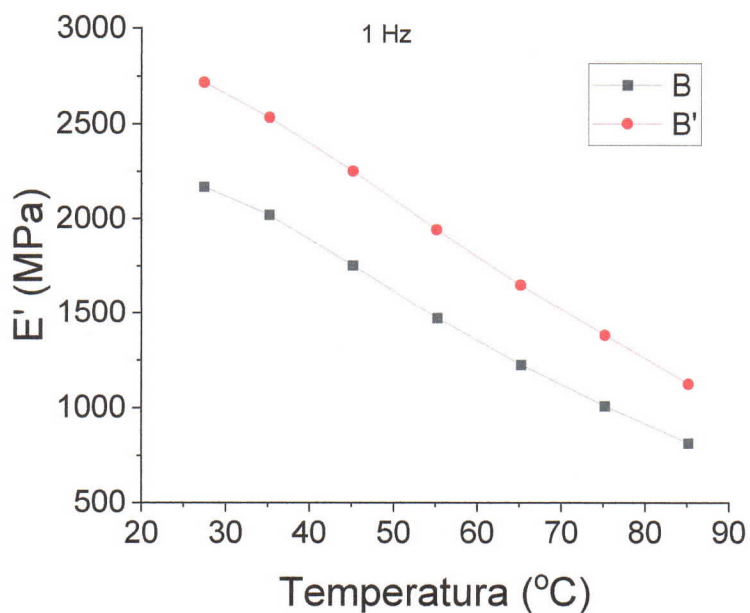


Rys. 35. Udarność próbek niestarzonych i starzonych

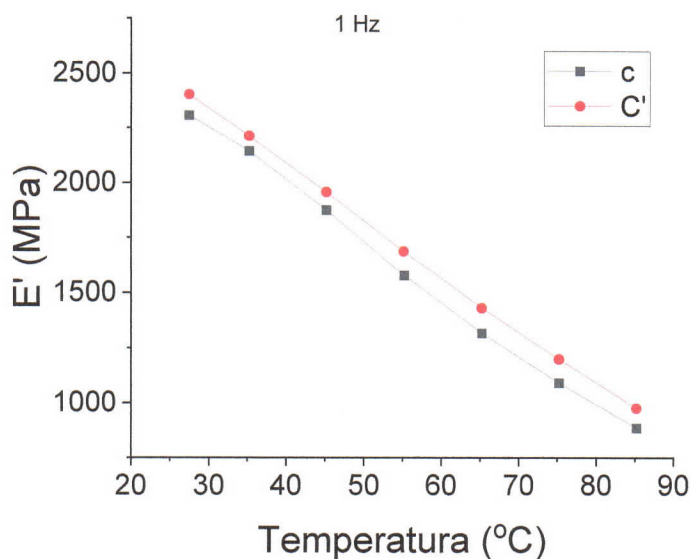
- W częstotliwości 1 Hz wraz ze wzrostem temperatury do 80 °C moduł sprężystości próbki A spada z 3000 (przed starzeniem 3500) MPa do około 1200 (przed starzeniem 1400) MPa, próbki B z 2700 (przed starzeniem 2200) MPa do około 1100 (przed starzeniem 800) MPa, a próbki C z 2400 (przed starzeniem 2300) MPa do około 970 (przed starzeniem 800 MPa). Zmiany te wynikają z relaksacji naprężeń podczas procesów starzenia, dlatego w próbkach A i B moduł okazał się nawet wyższy, natomiast w próbce A zarejestrowano wyraźny spadek modułu po procesie starzenia.
- W częstotliwości 100 Hz wraz ze wzrostem temperatury do 80 °C moduł sprężystości próbki A spada z 3200 (przed starzeniem 4000) MPa do około 1800 (przed starzeniem 2000) MPa, próbki B z 3000 (przed starzeniem 2500) MPa do około 1700 (przed starzeniem 1200) MPa, a próbki C z 2600 (przed starzeniem 2600) MPa do około 1400 (przed starzeniem 1300) MPa. Zmiany te wynikają z relaksacji naprężeń podczas procesów starzenia, dlatego w próbkach A i B moduł okazał się nawet wyższy, natomiast w próbce A zarejestrowano wyraźny spadek modułu po procesie starzenia.



Rys. 36. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbek przed starzeniem (A) i po starzeniu (A') odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 1 Hz



Rys. 37. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbek przed starzeniem (B) i po starzeniu (B') odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 1 Hz



Rys. 38. Moduł sprężystości ( $E'$ ) próbek przed starzeniem (C) i po starzeniu (C') odkształczanych w różnej temperaturze i z częstotliwością 1 Hz

Kierownik  
Katedry Inżynierii Materiałów  
Polimerowych  
*Piotr Rytlewski*  
dr hab. Piotr Rytlewski, prof. uczelni