

Wyniki badań procesu ciągnięcia drutów spawalniczych

Kraków, 04.05.2020

1.0 CEL BADAŃ

Celem badań eksperymentalnych była badania procesu ciągnięcia drutów spawalniczych, a w szczególności badania parametrów siłowych procesu ciągnięcia drutów spawalniczych wytworzonych w różnych warunkach procesu ciągnięcia oraz na jakość wytworzonych drutów (własności mechaniczne, niejednorodność oraz stan powierzchni).

1.1. Program badań i metodyka

Program badań w ocenie wpływu geometrii ciągnadła na zróżnicowanie parametrów siłowych procesu ciągnięcia obejmował:

1. Przygotowanie wsadu w postaci drutów aluminiowych oraz stalowych o średnicy $\varnothing 4\text{mm}$.
2. Proces ciągnięcia w warunkach laboratoryjnych z pomiarem siły ciągnięcia
3. Badania własności mechanicznych drutów

1.1.1. Materiał do badań

Materiałem zastosowany do badań były druty o średnicy $\varnothing 4\text{ mm}$ wytworzone z następujących materiałów EN-AW 4043, EN-AW 5356 oraz SG2.

1.1.2. Metodyka badań i opis stanowisk badawczych

W ramach zadania przeprowadzono badania dotyczące oceny wpływu geometrii ciągnadła na zróżnicowanie parametrów siłowych procesu ciągnięcia drutów spawalniczych wytworzonych w różnych warunkach procesu ciągnięcia. Procesowi ciągnięcia poddano druty wykonane z trzech różnych materiałów: EN-AW 4043, EN-AW 5356, SG2.

Druty o średnicy 4mm poddano procesowi ciągnięcia na drut o finalnej średnicy $\varnothing 3,013\text{ mm}$ w trakcie trzech operacji redukcji średnicy, przy zastosowaniu ciągnadeł stożkowych o różnej geometrii i parametrach budowy, charakteryzujące się:

- różnym kątem nominalnym stożka redukcyjnego 2α ,
- różną długością paska kalibrującego
- oraz nominalną zbieżnością kalibrującą 2β .

Ciągadła zostały wytypowane pod kątem uzyskania odpowiedniego współczynnika wydłużenia, który nie przekraczał $\lambda = 1,22$. Zastosowany schemat odkształcenia został przedstawiony w tabelicy nr 1.1.

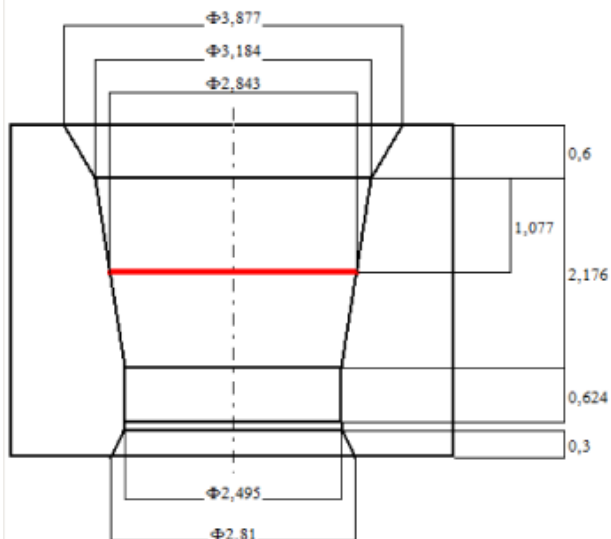
Tablica 1.1. Zestawienie parametrów odkształcenia w procesie ciągnięcia

Nr ciagu	D	S	λ_j	ϵ_c	ϵ_r
	[mm]	[mm ²]	[-]	[%]	[-]
0	4	12,56	-	0	0
1	3,66	10,52	1,19	16,3	0,18
2	3,32	8,65	1,22	31,1	0,37
3	3,013	7,13	1,21	43,3	0,57

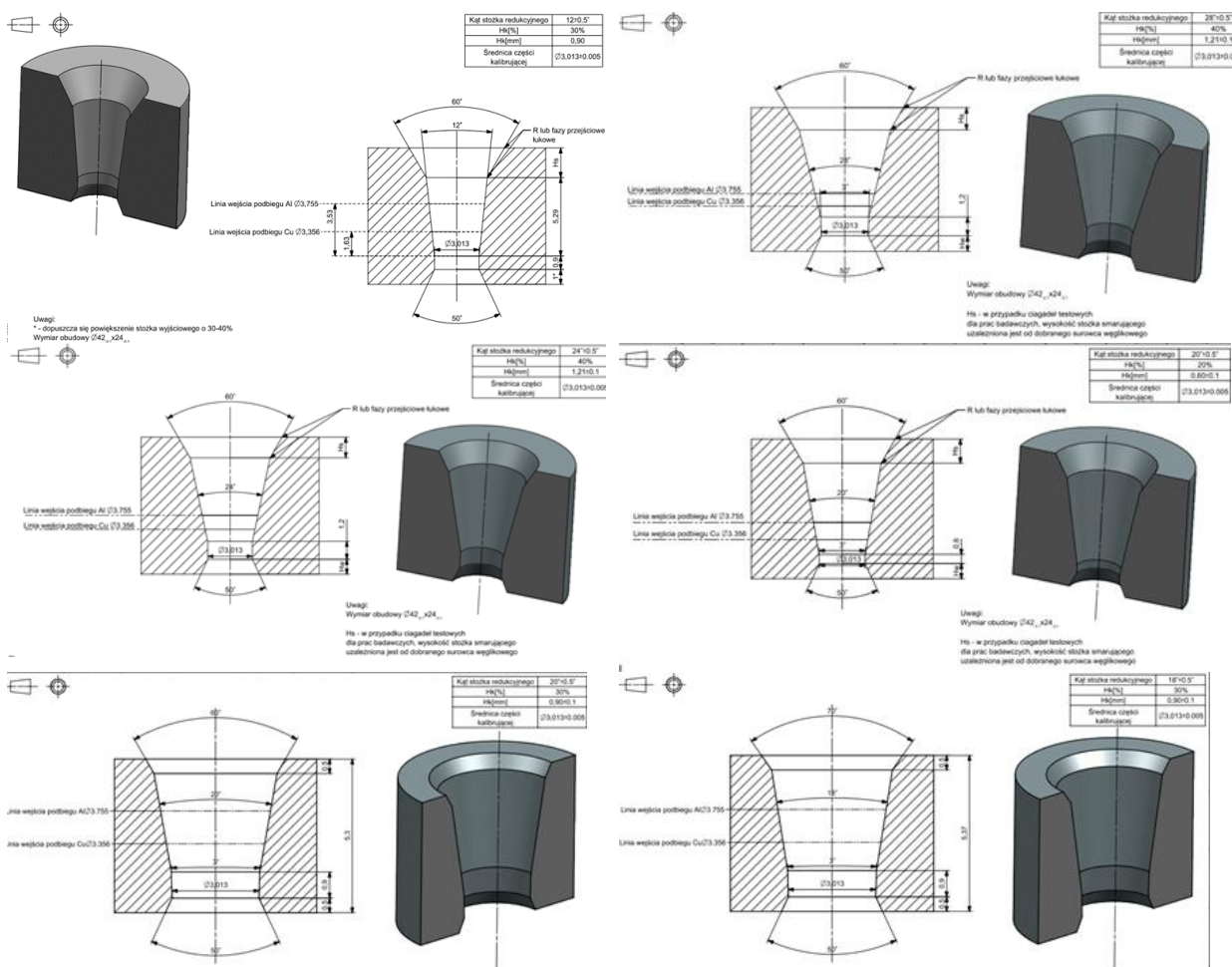
Tablica 1.2. Zestawienie ciągadeł oraz ich parametry, użytych do przeprowadzenia procesu ciągnięcia

Nr ciągadła	Kąt nominalny stożka redukcyjnego 2α	Nominalna długość paska kalibrującego	Nominalna zbieżność kalibracyjna 2β
[Lp]	[°]	[mm]	[°]
172	12	0,9	-
173	16	0,9	-
174	20	0,9	-
175	24	0,9	-
176	28	0,9	-
177	16	0,6	-
178	16	1,2	-
179	16	0,6	3
180	16	0,9	3
181	16	1,2	3
302	12	0,6	-
303	20	0,6	-
304	24	0,6	-
305	28	0,6	-
306	12	1,21	-
307	20	1,21	-
308	24	1,21	-
309	28	1,21	-
316	12	0,6	3
317	20	0,6	3
318	24	0,6	3
319	28	0,6	3
320	12	1,21	3
321	20	1,21	3
322	24	1,21	3
323	28	1,21	3

Na rys.1.1 – 1.2 przedstawiono schematy wybranych modeli ciągadeł, zaś na rys. 1.3-1.4 - zdjęcia ciągadeł wytypowanych do badań.



Rys.1.1. Schemat ciąkadła



Rys.1.2. Rysunki wybranych modeli ciągań o różnej geometrii

NSW3DM – Nowa generacja bezpośrednich ciągań do procesu wytwarzania drutów spawalniczych zintegrowana z linią do ich chemicznego miedziowania, nr POIR.01.01.01-00-0264/19 w ramach Działania 1.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020 przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



Rys.1.3. Widok ciągadeł wykonanych na podstawie projektów

Rys.1.4. Zestaw ciągadeł wytworzonych w ramach zadania

W trakcie procesu ciągnięcia został zastosowany smar Drawlube 100. Smar był наносzony na powierzchnię wsadu oraz utrzymywany był w kotlinie ciągniczej ciągadła w celu zmniejszenia oporów tarcia na styku ciągadła materiał wsadowy. Tarcie w procesie ciągnięcia jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Wpływa na zwiększenie siły ciągnięcia jak również na nierównomierność odkształcenia i występowania naprężeń własnych. Na pokonanie sił tarcia zużywa się około 30 - 50% całkowitej siły ciągnięcia. Procesu ciągnięcia prętów przeprowadzono na laboratoryjnej ciągarni ławowej. Prędkość procesu ciągnięcia wynosiła 0,4 m/s. Ciągarka laboratoryjna wyposażona jest w tensometryczny tor pomiaru siły ciągnięcia składający się z membranowego czujnika siły firmy Hottinger Baldwin Messtechnika, wzmacniacza Spider 8 firmy Hottinger oraz komputerowego systemu zbierania i przetwarzania danych. Dokładność toru pomiarowego to 0,1%.

Parametry procesu ciągnięcia:

- stanowisko: ciągarka ławowa,
- prędkość ciągnięcia: $V_c=0,4$ m/s,
- rodzaj smaru: Drawlube 100,
- materiał stożka roboczego ciągadła: diament

Druty po procesie ciągnięcia zostały poddane ocenie własności mechanicznych i ich rozkładu na przekroju poprzecznym. Badania własności wytrzymałościowych drutów uzyskanych w procesie ciągnięcia przeprowadzono dla każdego wariantu materiałowego oraz zastosowanego ciągadła. Testy przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell w próbie jednoosiowego rozciągania. Maksymalna dopuszczalna siła badawcza tego urządzenia w kierunku na rozciąganie lub ściskanie wynosi 20kN. Rejestrację pomiarów podczas prowadzonych testów umożliwia komputer z oprogramowaniem testXpert II.

Statyczna próba rozciągania jest najpowszechniej stosowaną próbą do analizy własności wytrzymałościowych przy doborze materiałów na różnego rodzaju konstrukcje. Jest to próba łatwa, dokładna i wszechstronna, przeprowadzana zgodnie z zaleceniami norm.

Celem próby było wyznaczenie:

- Wyraźnej granicy plastyczności,
- Umownej granicy plastyczności,
- Wytrzymałości na rozciąganie,
- Naprężenia rozrywającego,
- Przewężenia względnego,
- Wydłużenia względnego

Parametry badania własności mechanicznych w próbie jednoosiowego rozciągania:

- Baza pomiarowa próbek wynosiła 100 mm,
- Prędkość ruchu trawersy 50 mm/min.

2.0 WYNIKI BADAŃ GEOMETRII CIĄGADŁA NA PARAMETRY SIŁOWE PROCESU CIĄNIENIA DRUTÓW SPAWALNICZYCH

W ramach przeprowadzonych badań wpływu geometrii ciągadła na zróżnicowanie parametrów siłowych procesu ciągnięcia drutów spawalniczych wytworzonych w różnych warunkach procesu ciągnięcia, analizie poddano druty o finalnej średnicy $\varnothing 3,013\text{mm}$ uzyskanych w ramach przeprowadzenia procesu ciągnięcia przy zastosowaniu 26 ciągadeł o zróżnicowanych parametrach dla trzech wariantów materiałowych.

Wyniki badań siły ciągnięcia zostały poddane analizie w zależności od wielkości kąta rozwarcia stożka roboczego i długości części kalibrującej.

1. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°
2. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°
3. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°

NSW3DM – Nowa generacja bezpoślizgowych ciągarek do procesu wytwarzania drutów spawalniczych zintegrowana z linią do ich chemicznego miedziowania”, nr POIR.01.01.01-00-0264/19 w ramach Działania 1.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020 przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

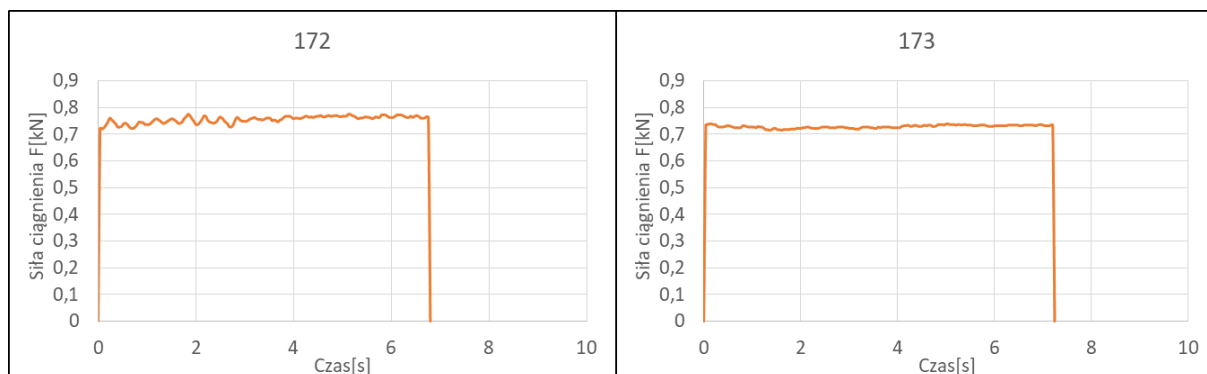
4. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°
5. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°
6. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i o zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2
7. Zestawienie sił ciągnięcia drutów w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β i zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2

Tablica 2.1. Zestawienie parametrów geometrycznych wytypowanych do badań ciągadeł

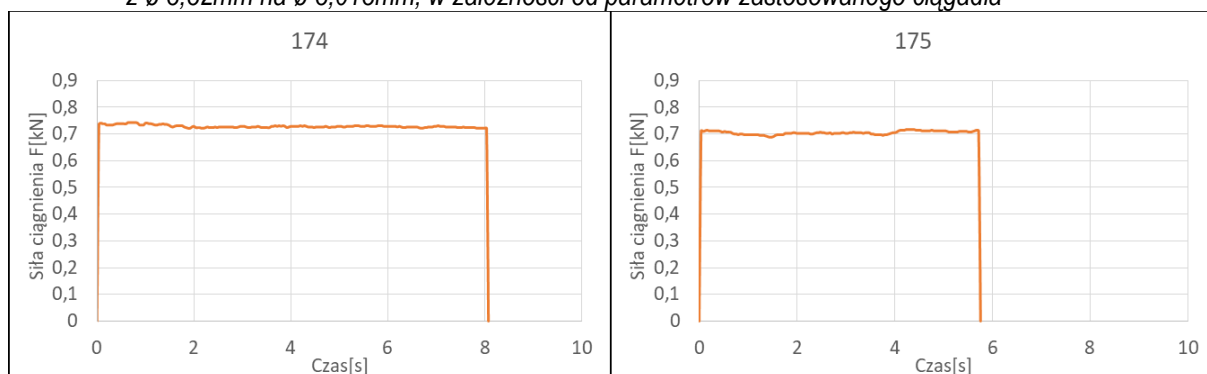
Nr ciągadła	Wartość nominalna		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt zbieżności części kalibrującej 2β
Lp	[°]	[mm]	[°]
302	12	0,6	0
177	16	0,6	0
303	20	0,6	0
304	24	0,6	0
305	28	0,6	0
172	12	0,9	0
173	16	0,9	0
174	20	0,9	0
175	24	0,9	0
176	28	0,9	0
306	12	1,21	0
178	16	1,2	0
307	20	1,21	0
308	24	1,21	0
309	28	1,21	0
316	12	0,6	3
179	16	0,6	3
317	20	0,6	3
318	24	0,6	3
319	28	0,6	3
320	12	1,21	3
181	16	1,2	3
321	20	1,21	3
322	24	1,21	3
323	28	1,21	3
179	16	0,6	3
180	16	0,9	3
181	16	1,2	3
177	16	0,6	0
173	16	0,9	0
178	16	1,2	0

2.1.1. Druty spawalnicze z aluminium w gat. EN AW-4043

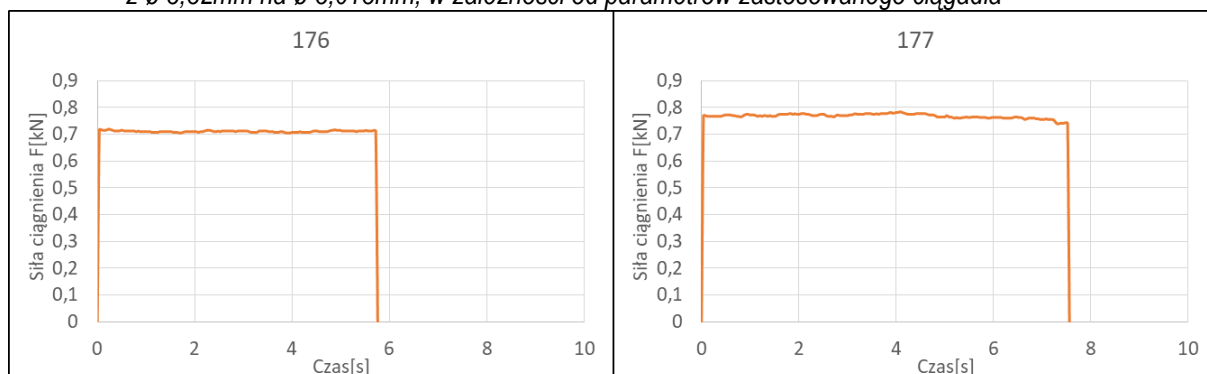
Charakterystyki ilustrujące parametry siłowe procesu przedstawiono w poniższych podrozdziałach. Na rys. 2.1 – 2.17 przedstawiono wyniki pomiaru siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 i En AW 5656 oraz drutów stalowych w gat. SG2 przy zastosowaniu ciągadeł o różnej geometrii.



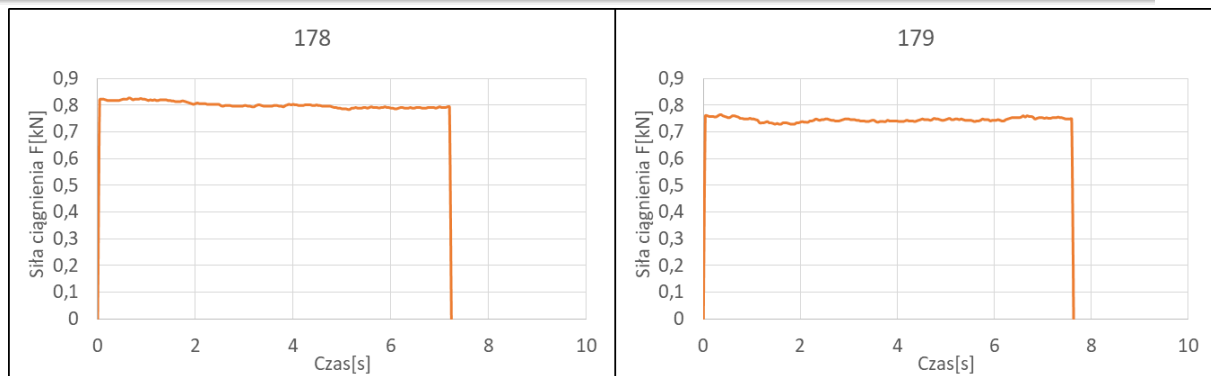
Rys.2.1. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



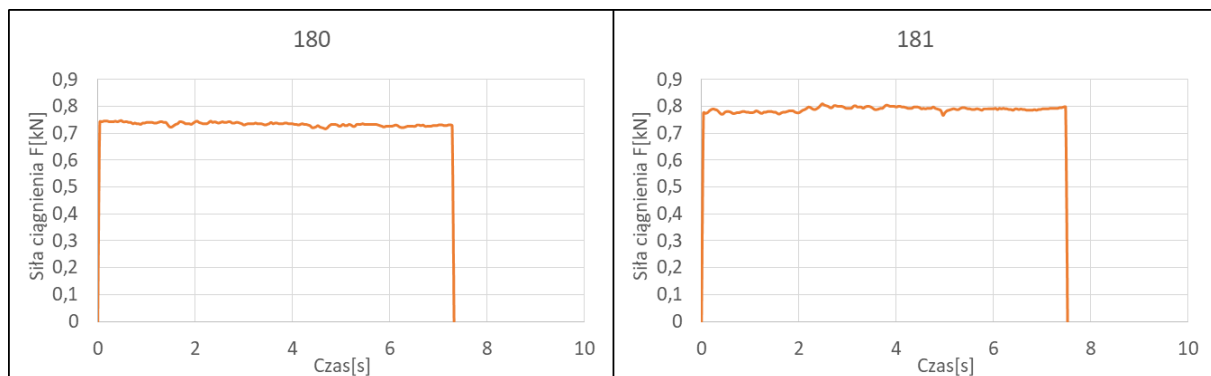
Rys.2.2. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



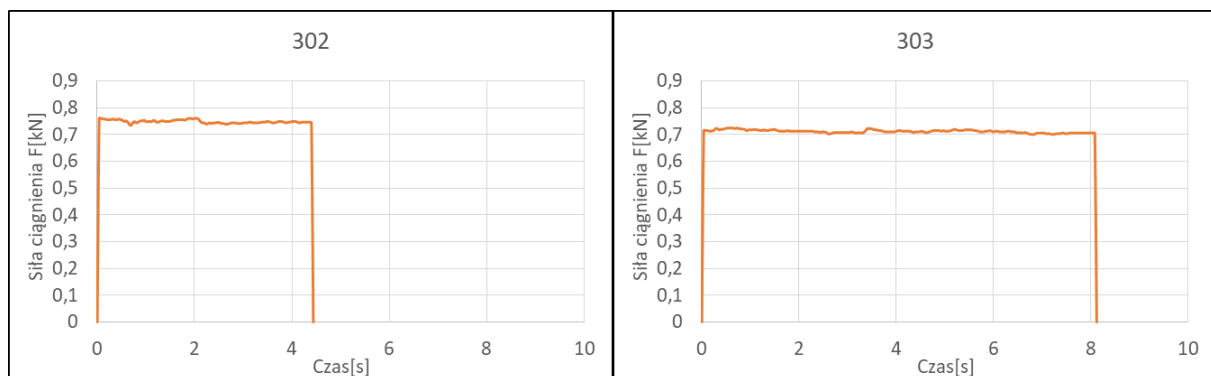
Rys.2.3. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



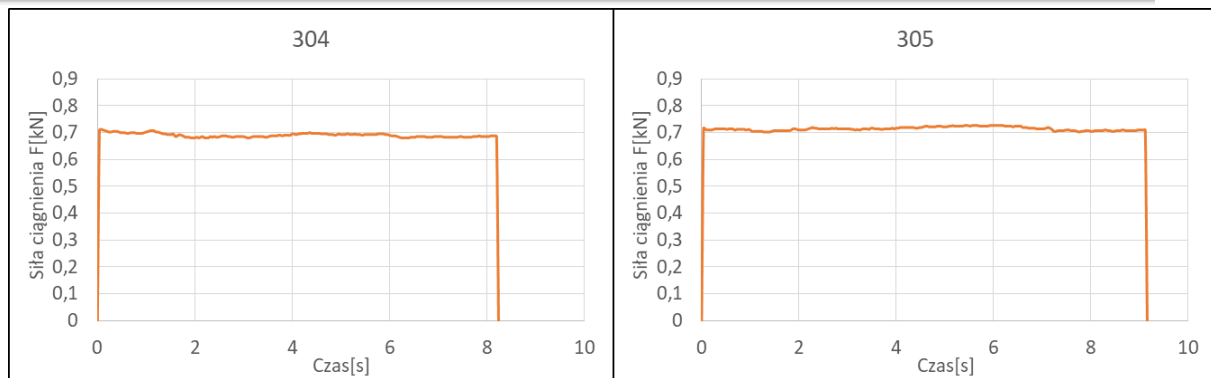
Rys.2.4. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



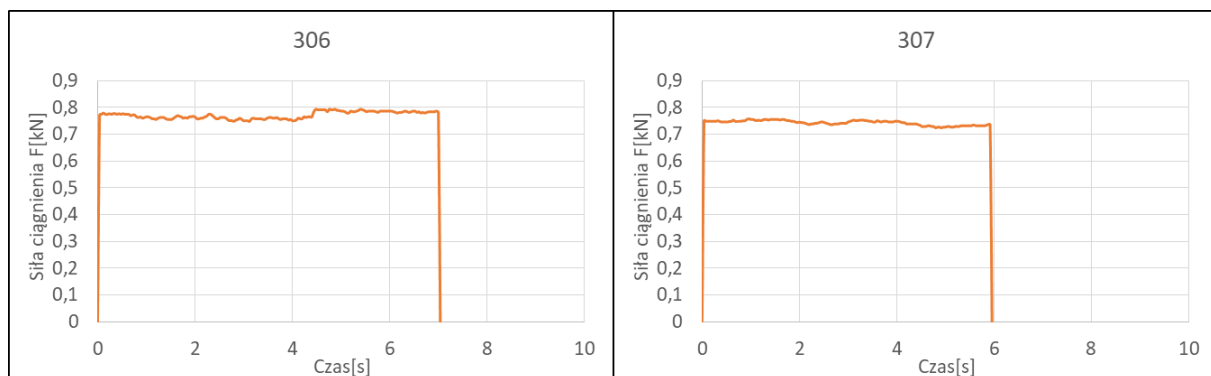
Rys.2.5. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



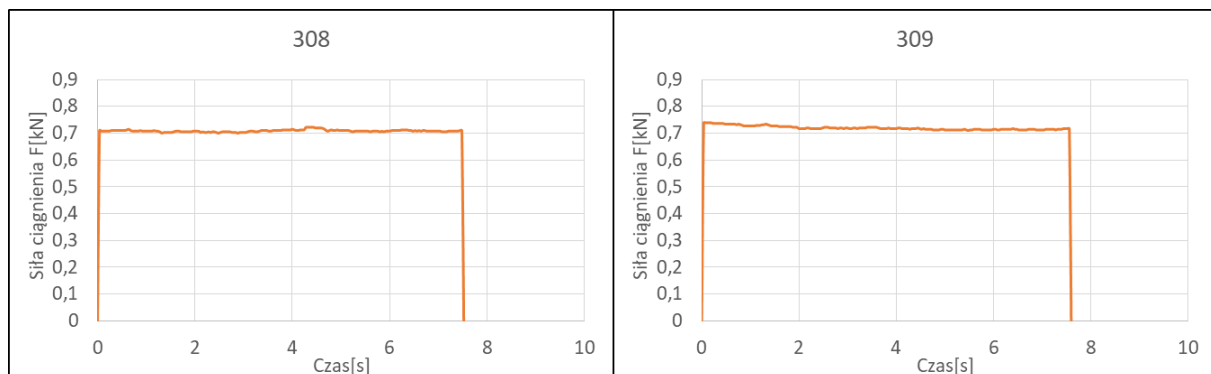
Rys.2.6. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



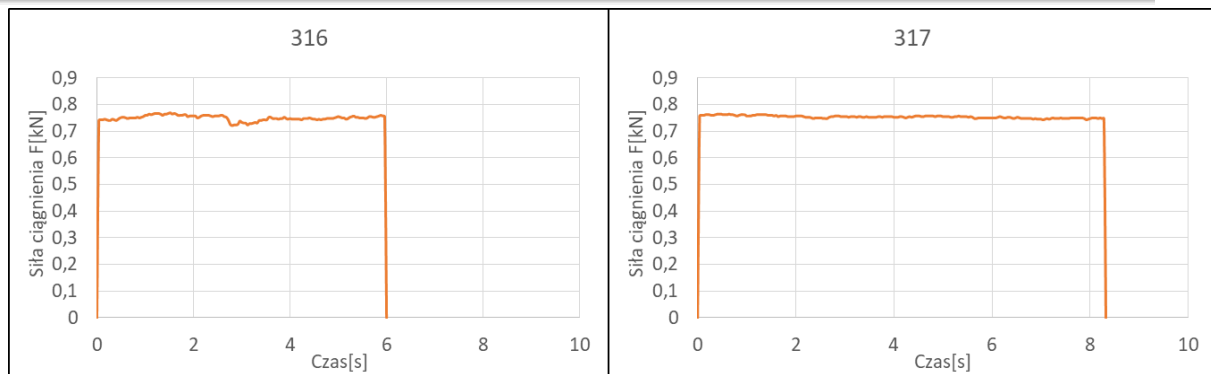
Rys.2.7. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



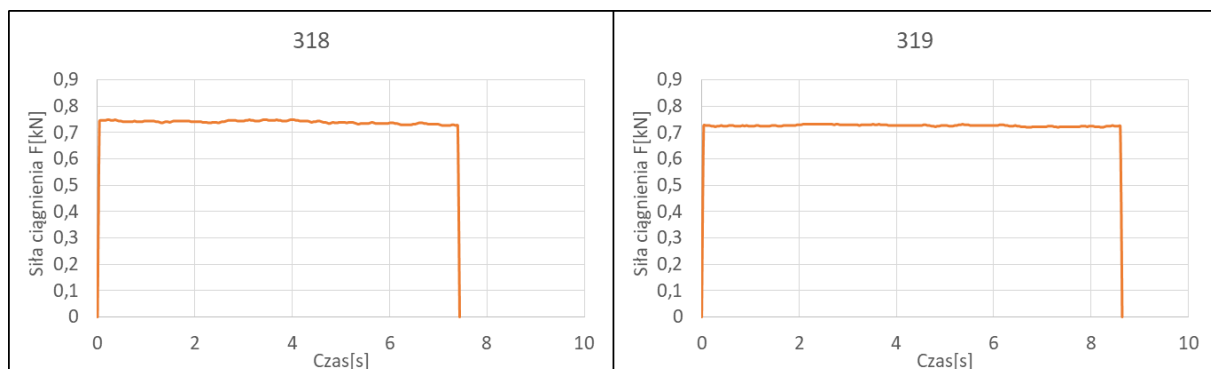
Rys.2.8. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



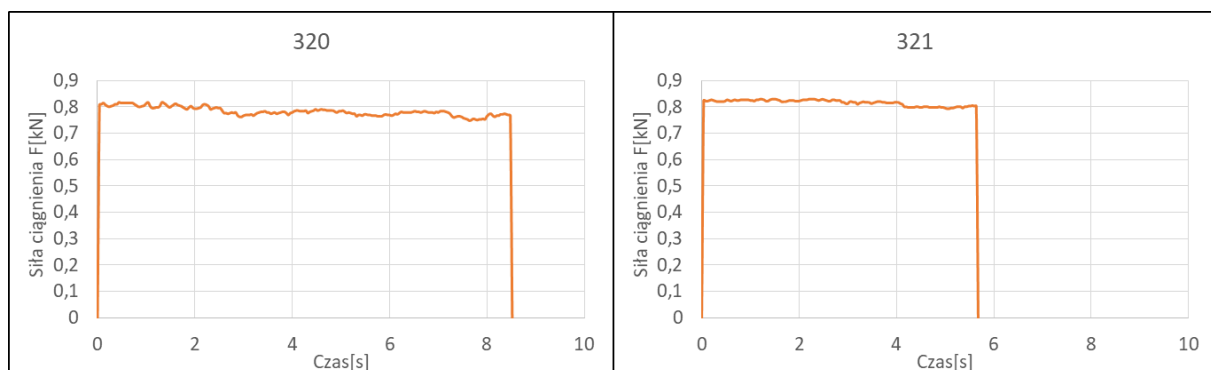
Rys.2.9. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych w gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



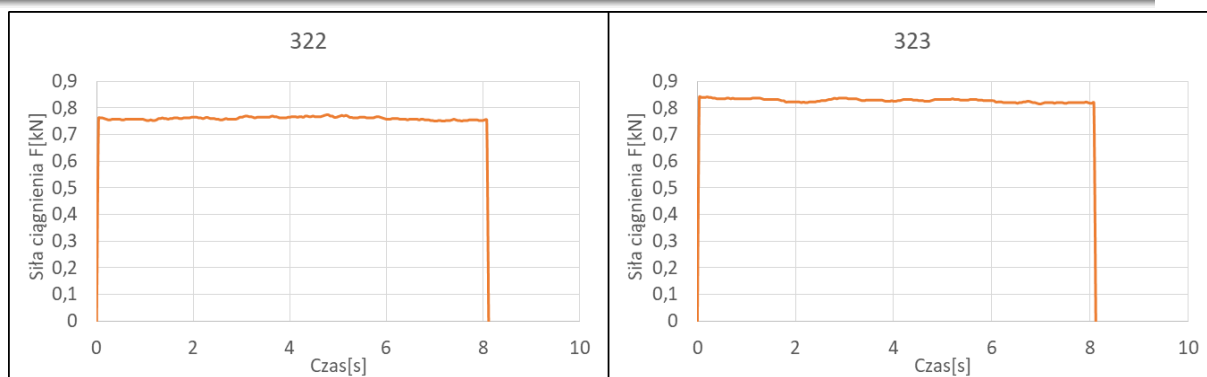
Rys.2.10. Rys.14 . Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.11. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

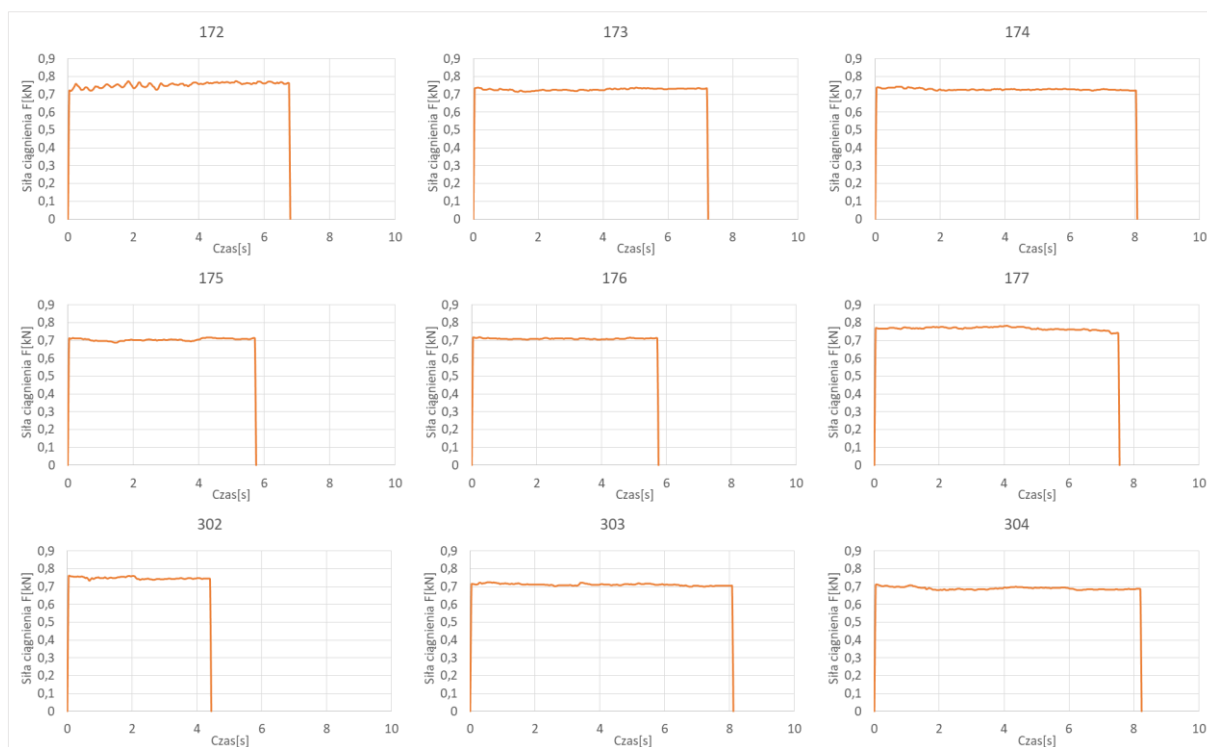


Rys.2.12. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

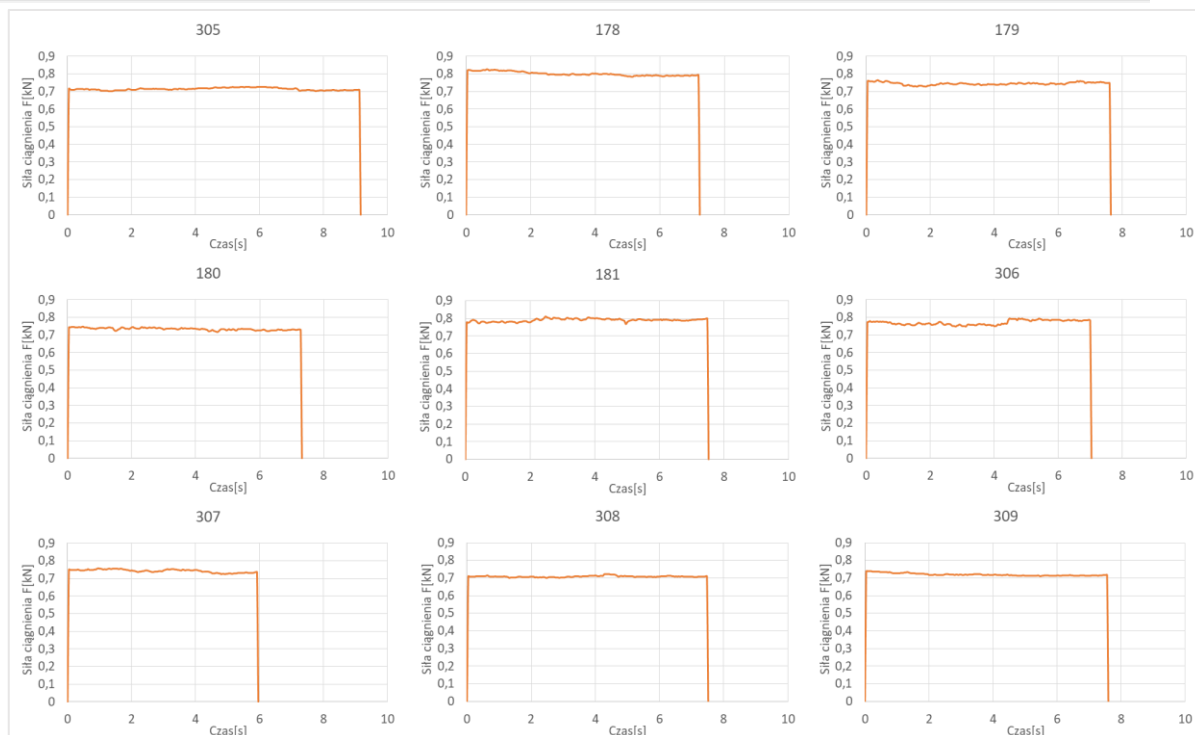


Rys.2.13. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

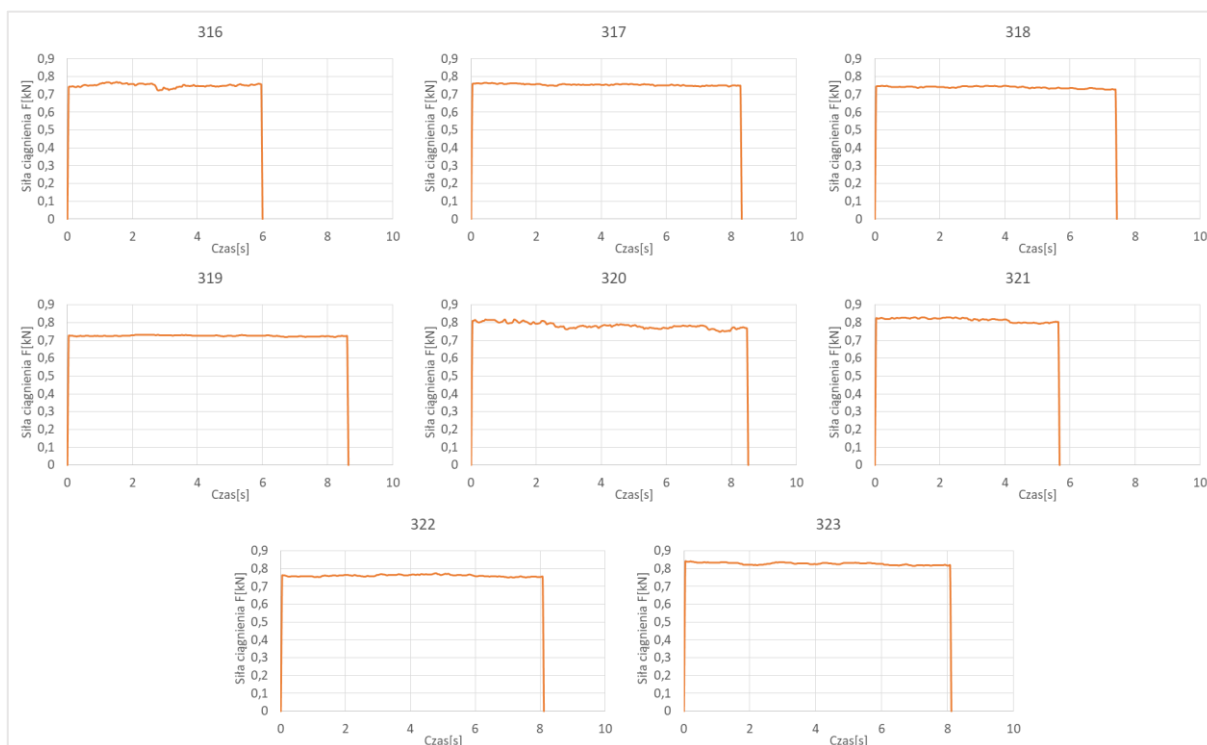
- Zestawienie porównawcze wykresów sił ciągnięcia dla wszystkich zastosowanych wariantów ciągnadeł



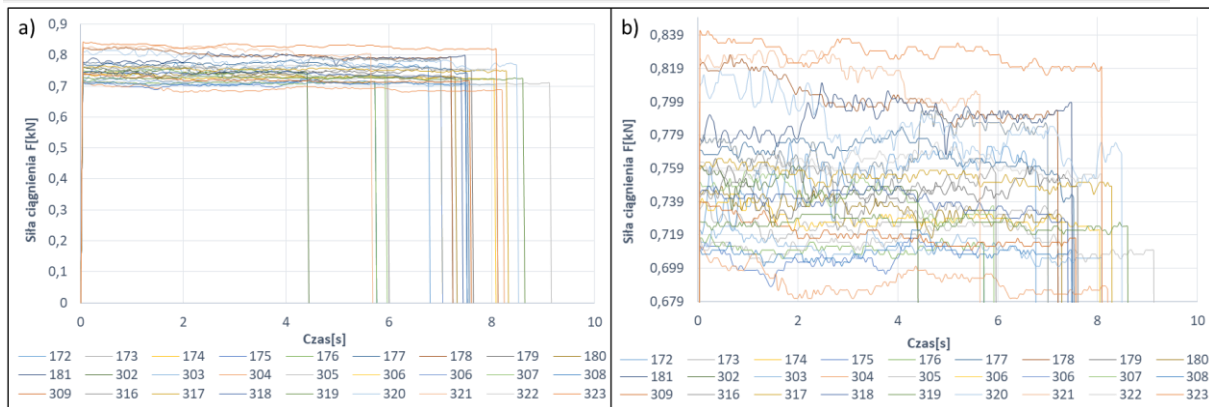
Rys.2.14. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.15. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



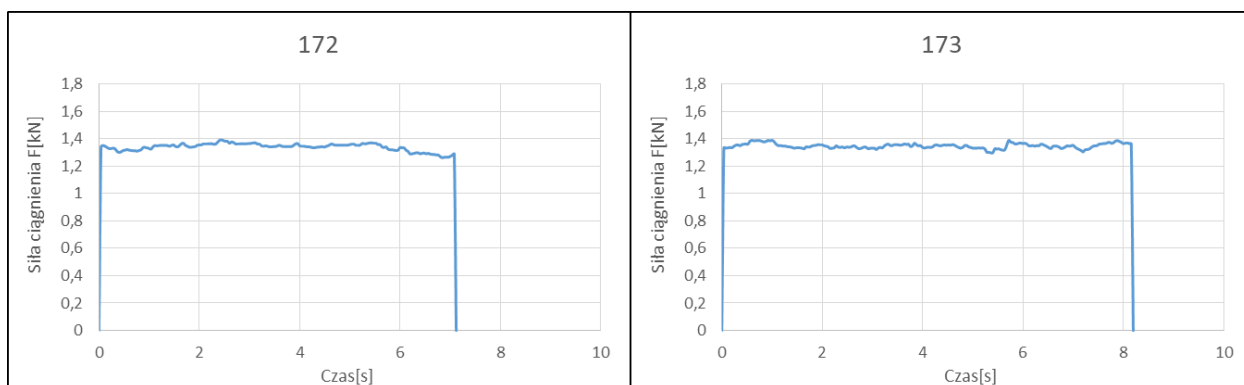
Rys.2.16. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



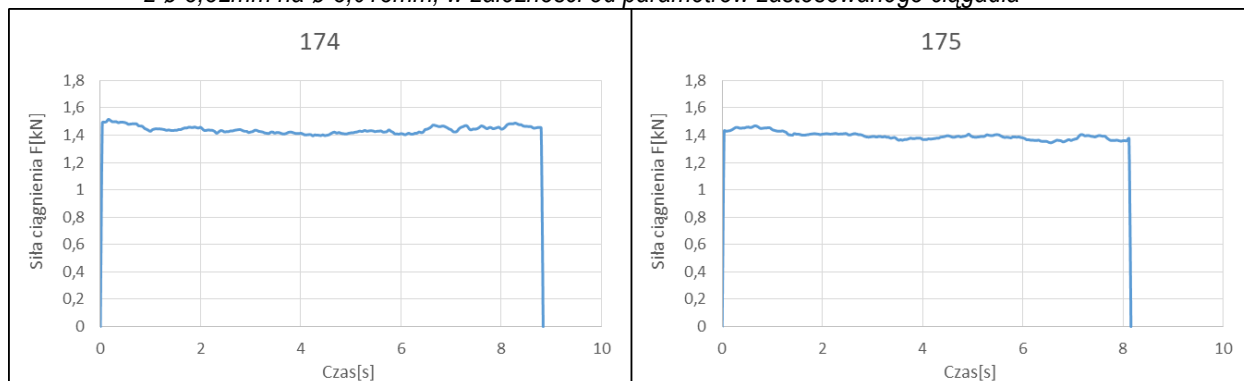
Rys.2.17. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła; a) wykres zbiorczy, b) wykres zbiorczy w powiększeniu

2.1.1. Druty spawalnicze z aluminium w gat. EN AW-5356

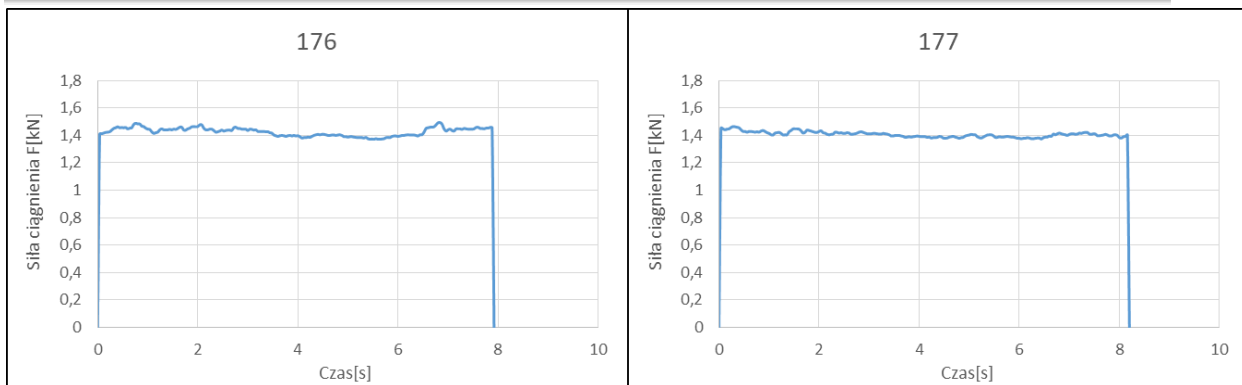
Na rys. 2.18 – 2.34 przedstawiono wyniki pomiarów siły ciągnięcia drutów aluminiowych w gatunku EN-AW 5356 dla różnych wariantów geometrycznych ciągnadeł.



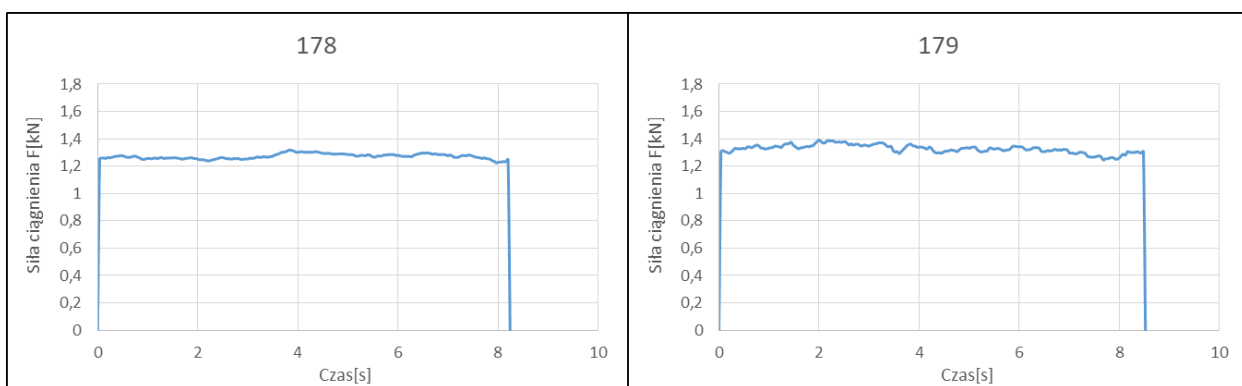
Rys.2.18. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



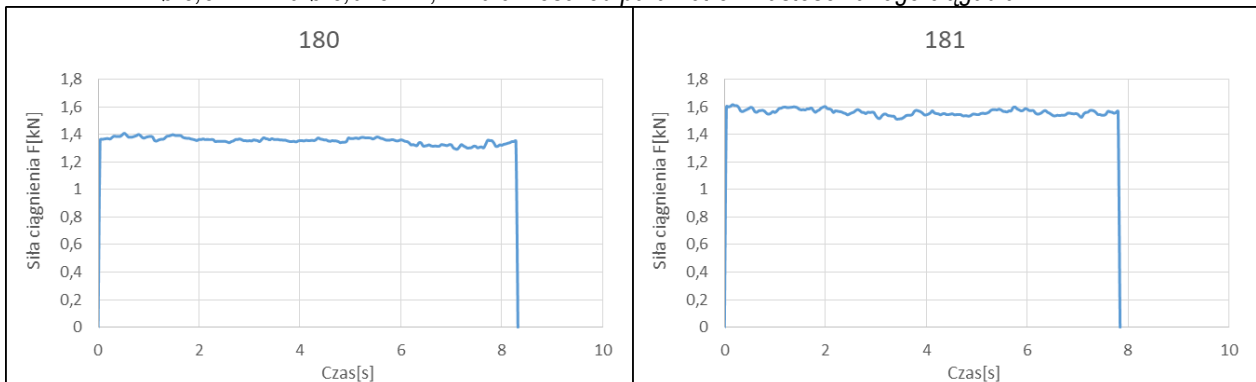
Rys.2.19. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



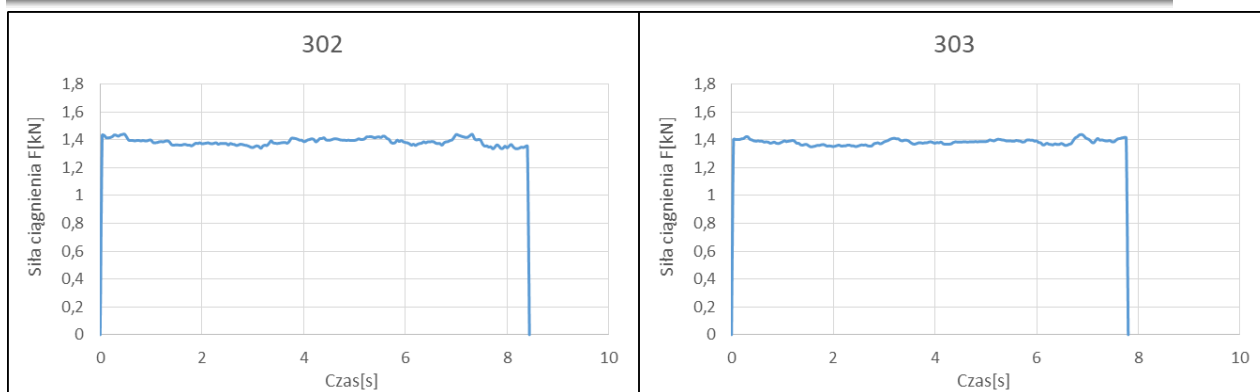
Rys.2.20. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



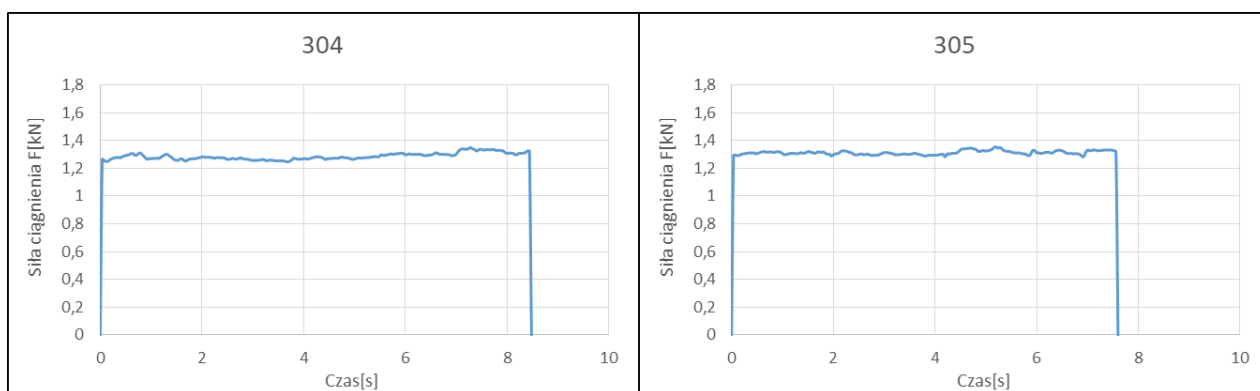
Rys.2.21. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



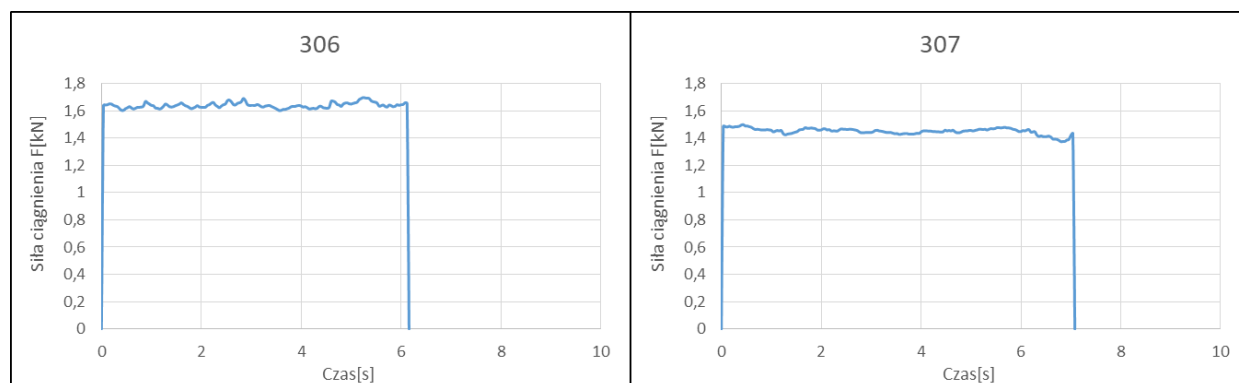
Rys.2.22. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



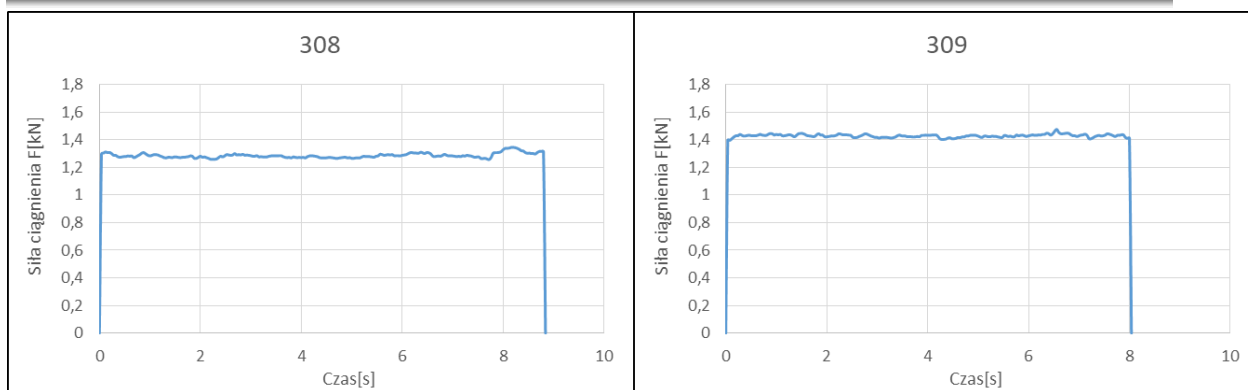
Rys.2.23. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



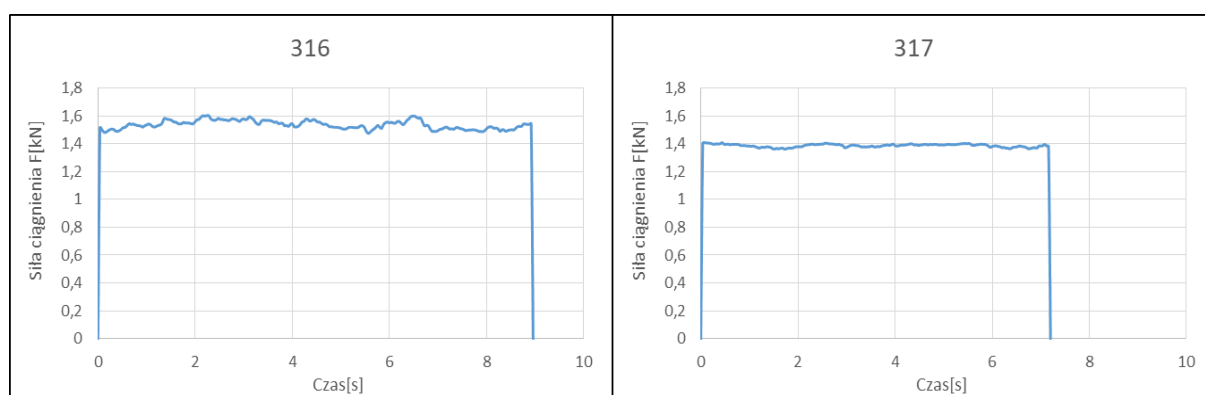
Rys.2.24. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



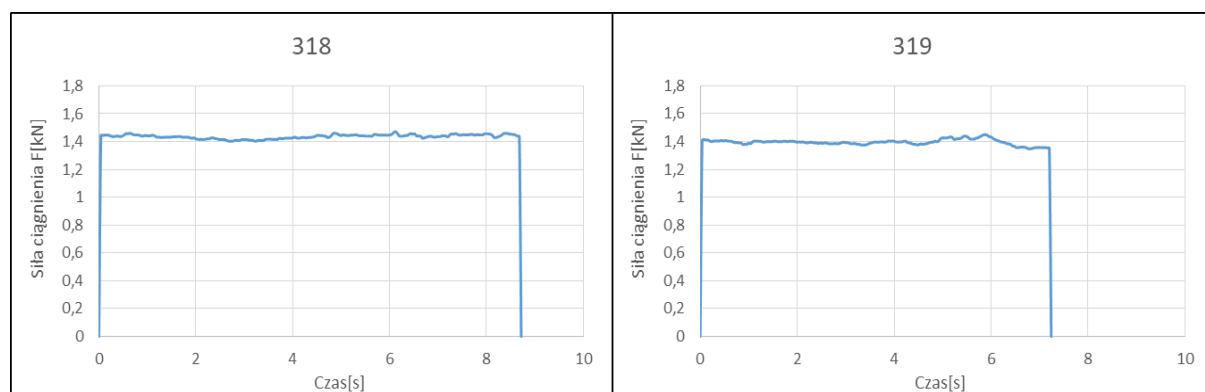
Rys.2.25. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



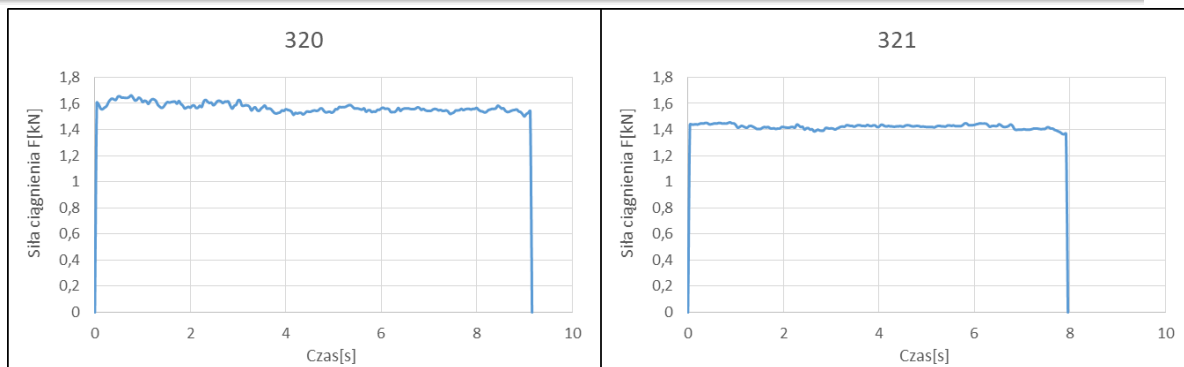
Rys.2.26. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



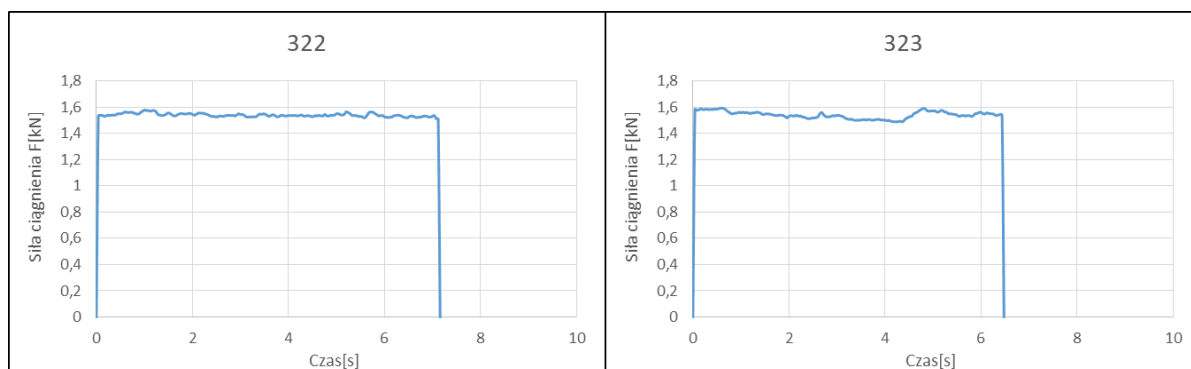
Rys.2.27. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.28. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

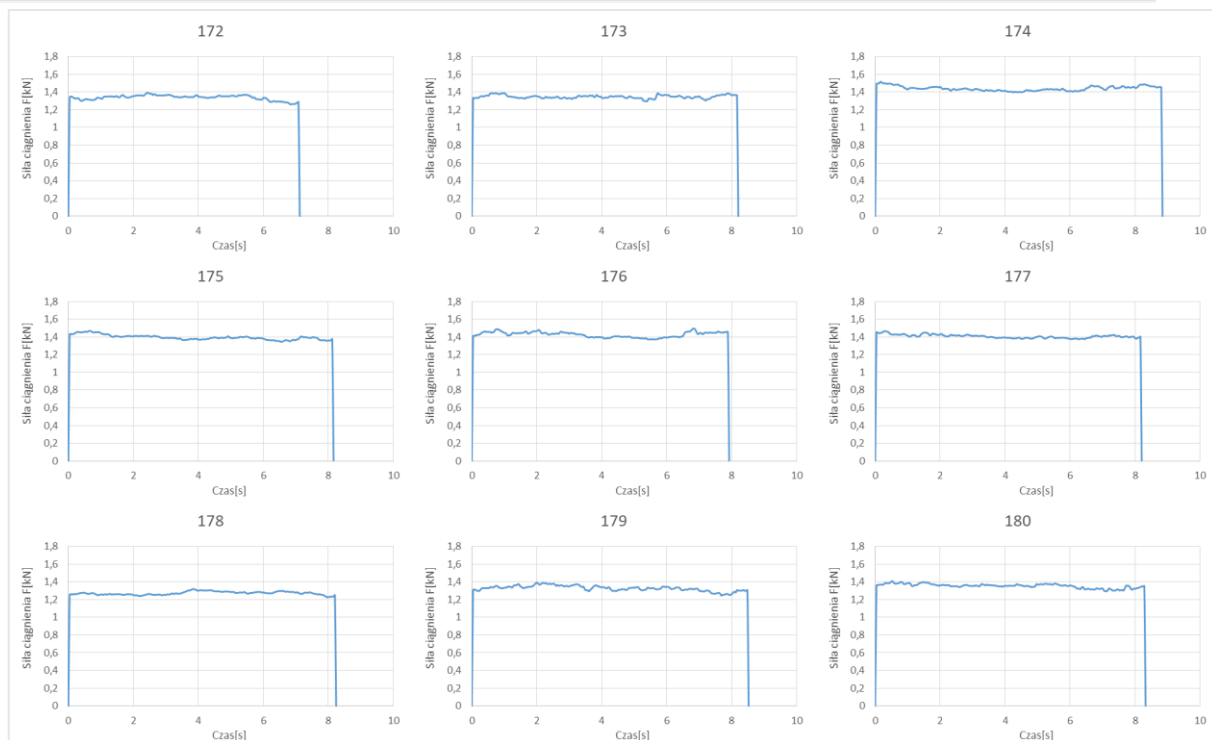


Rys.2.29. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

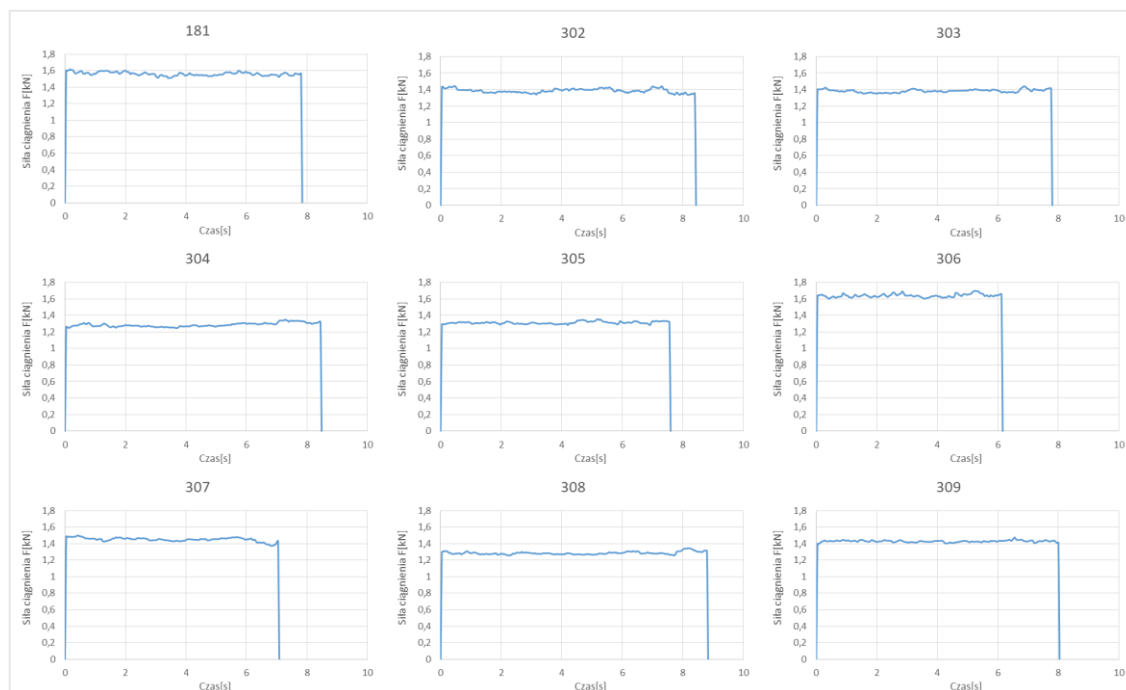


Rys.2.30. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

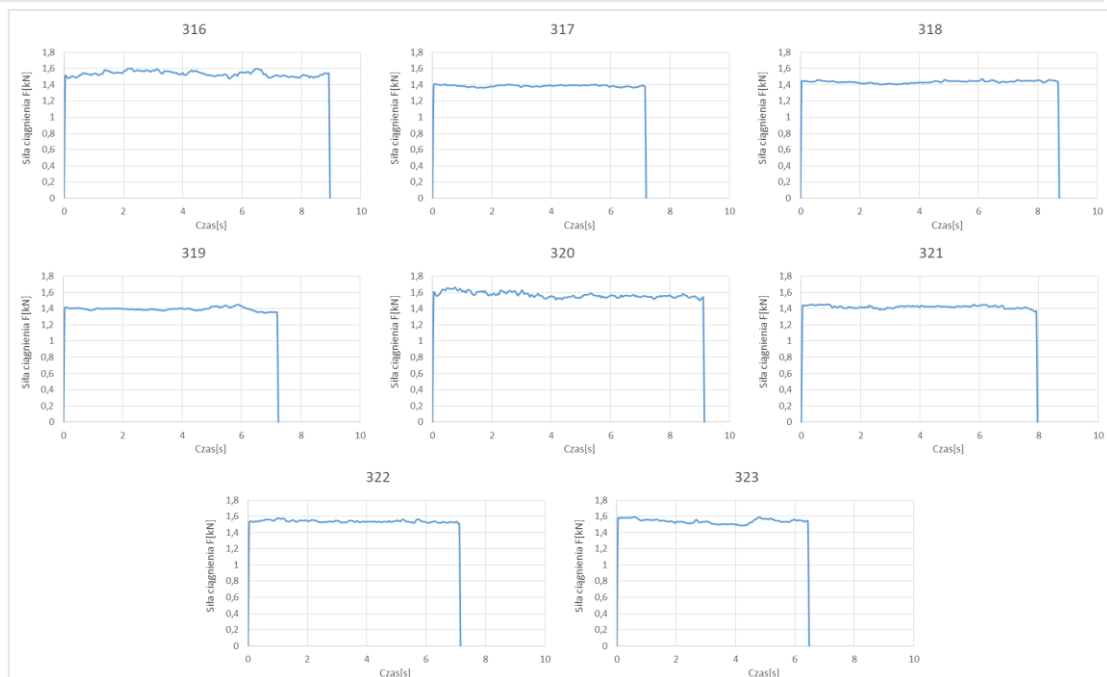
Zestawienie porównawcze wykresów sił ciągnięcia dla wszystkich zastosowanych wariantów ciągnadeł przedstawiono na rys. 2.31 -2.34.



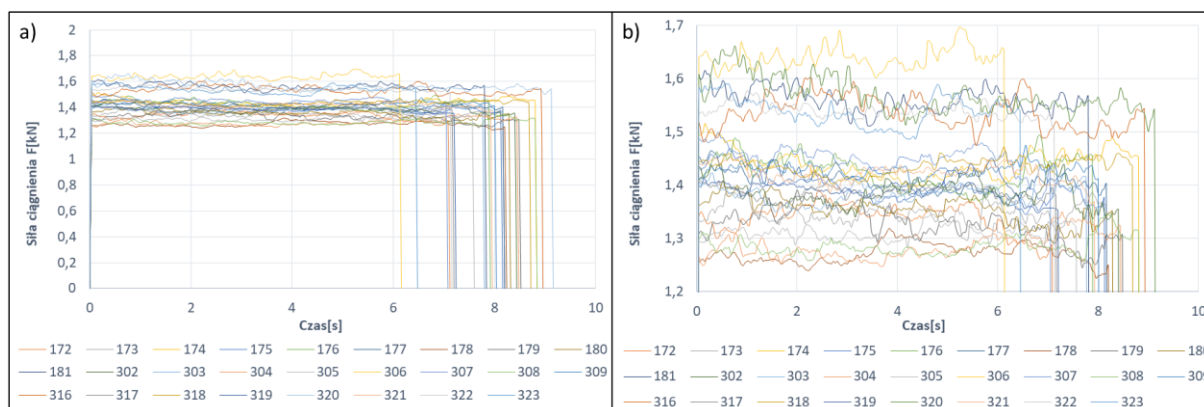
Rys.2.31. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.32. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



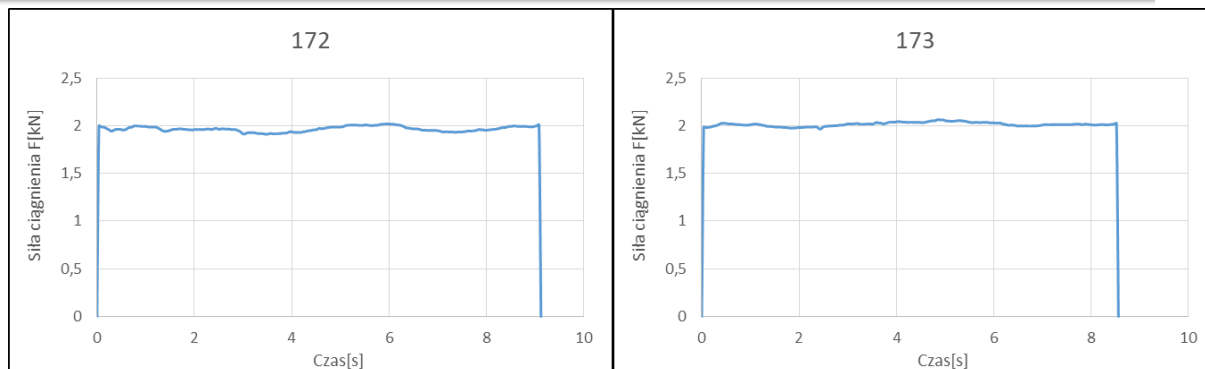
Rys.2.33. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła



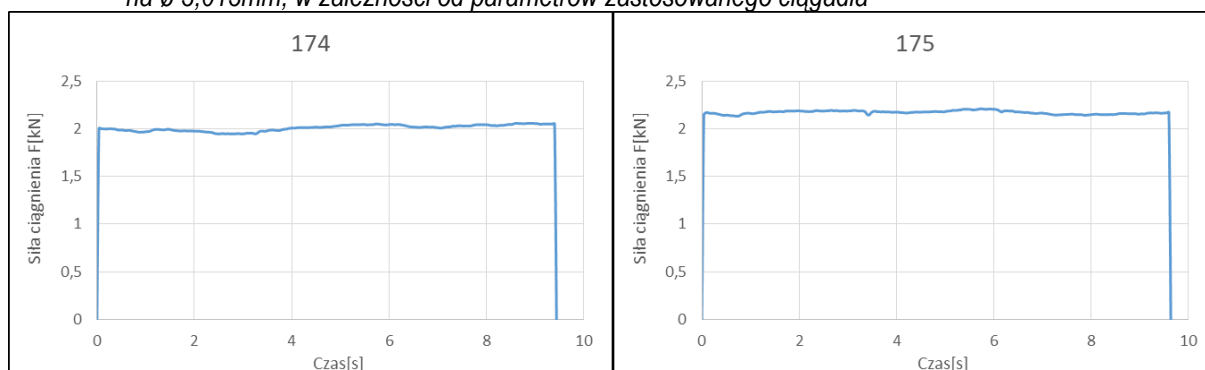
Rys.2.34. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła; a) wykres zbiorczy, b) wykres zbiorczy w powiększeniu

2.1.1. Druty spawalnicze ze stali w gat. SG2

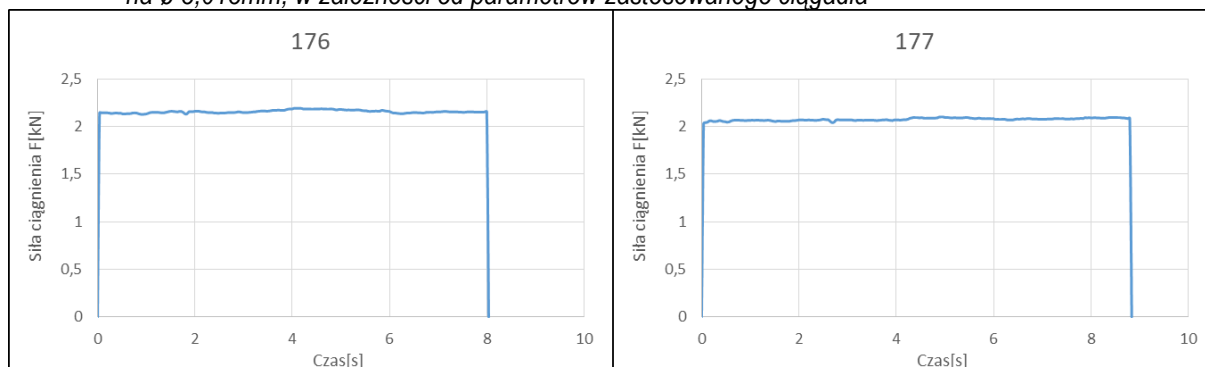
Na rys. 2.35 – 2.47 przedstawiono wykresy sił ciągnięcia dla drutów stalowych gatunku SG2.



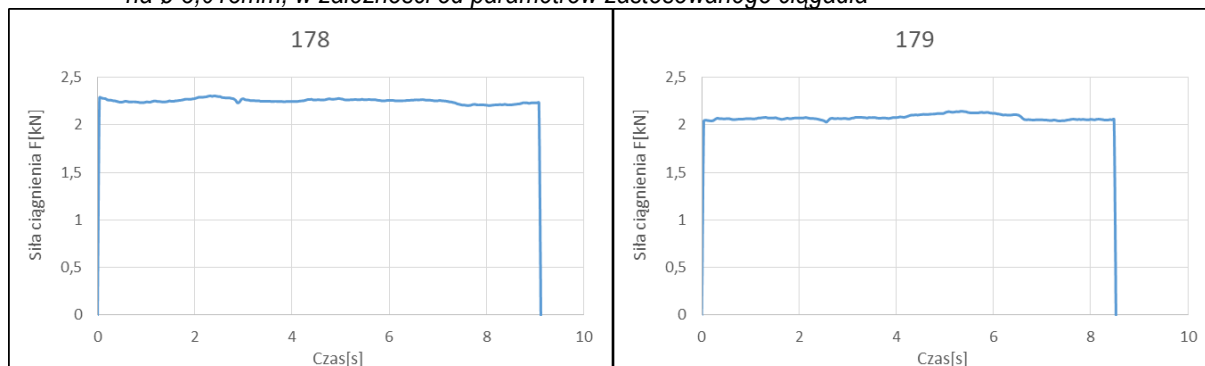
Rys.2.35. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



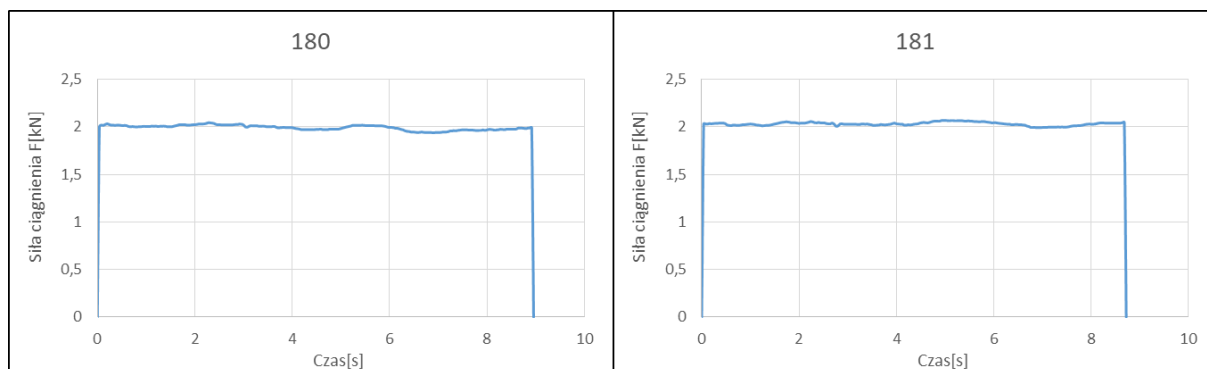
Rys.2.36. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



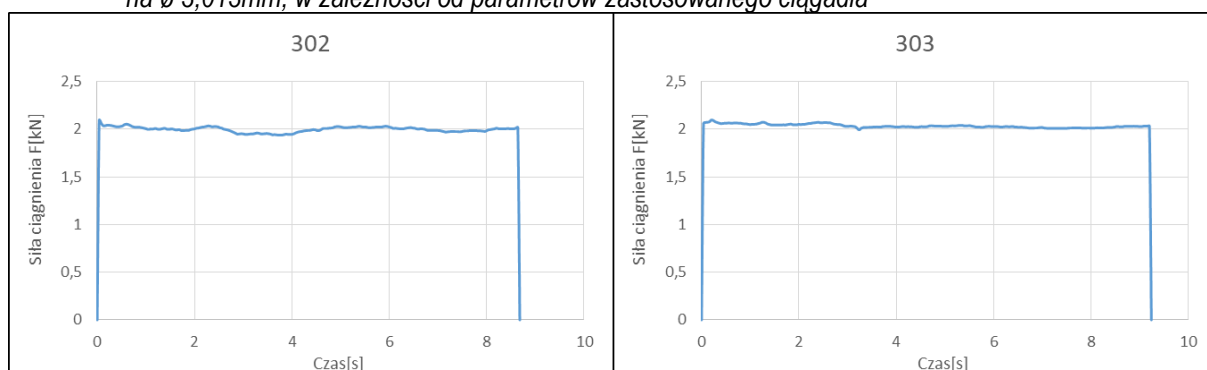
Rys.2.37. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



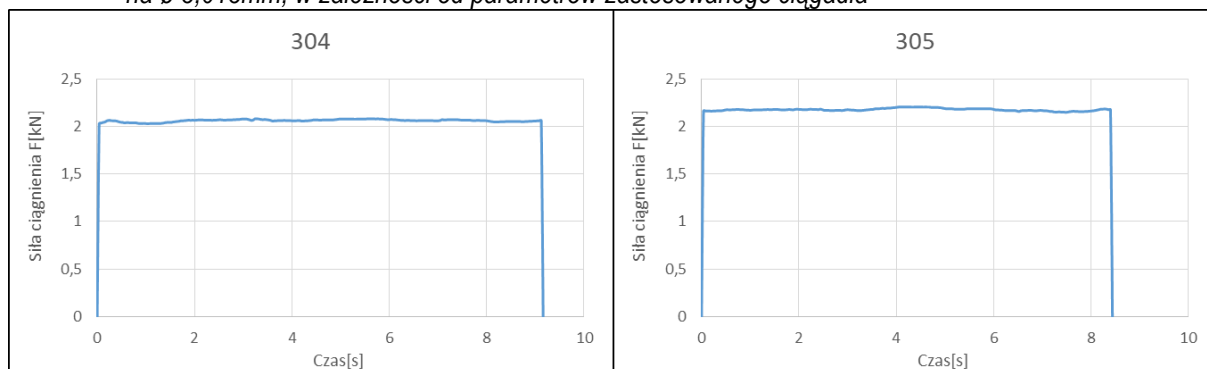
Rys.2.38. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



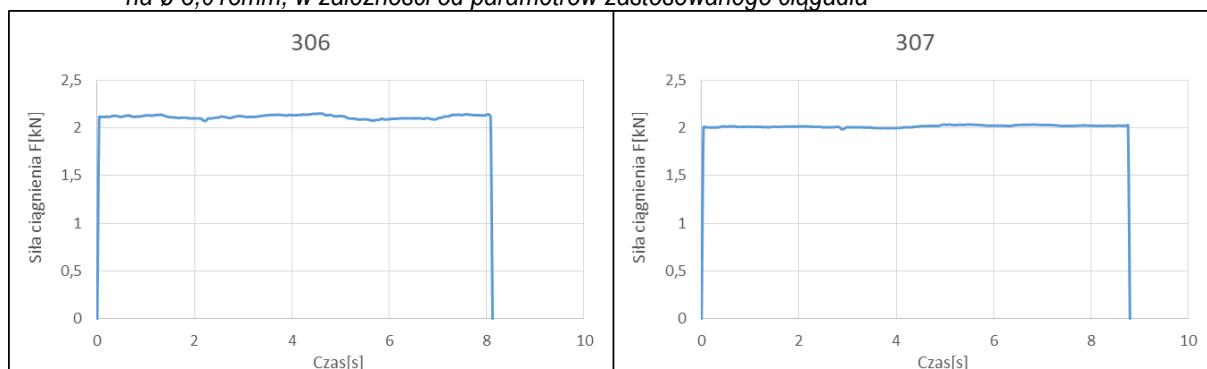
Rys.2.39. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



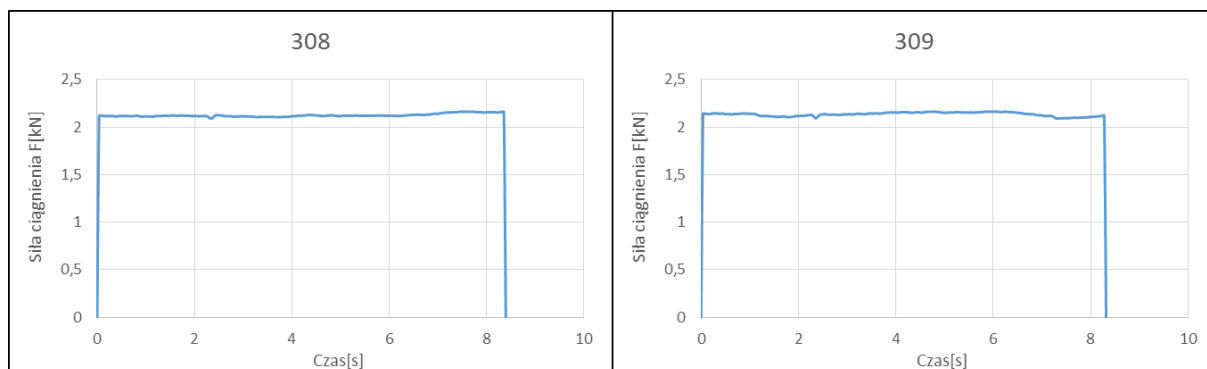
Rys.2.40. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



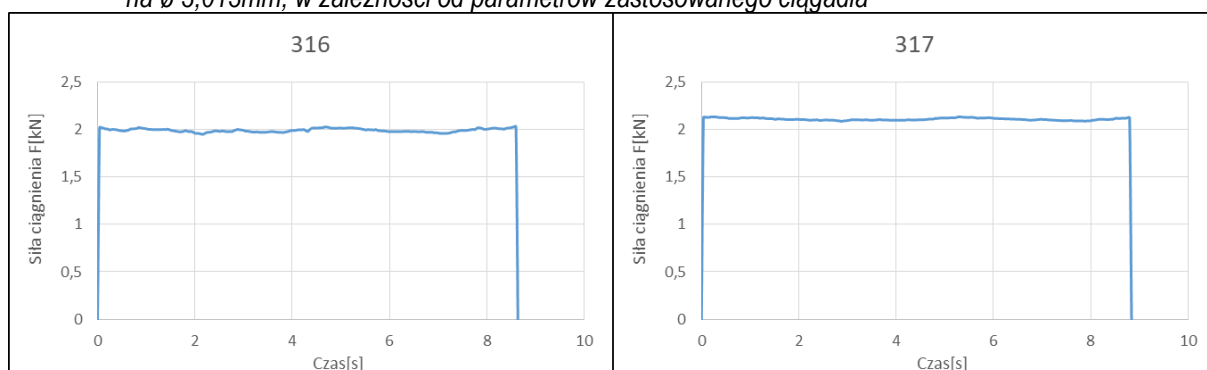
Rys.2.41. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



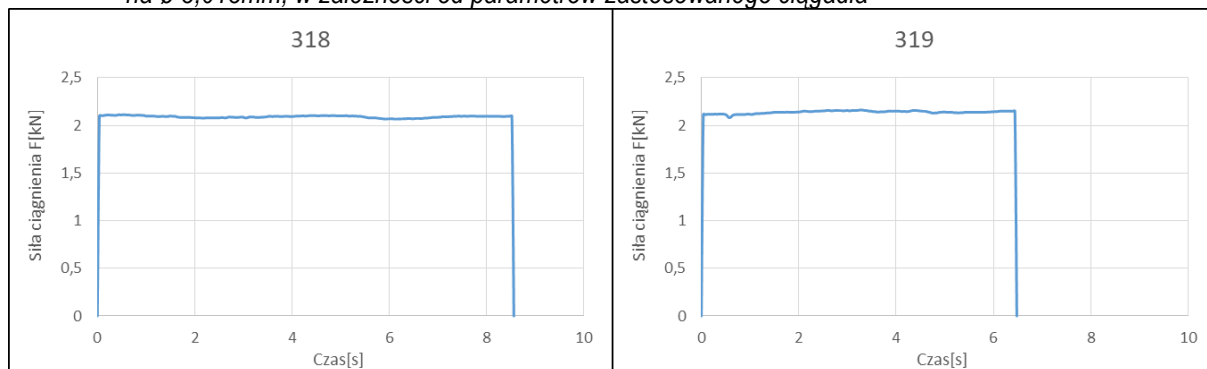
Rys.2.42. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



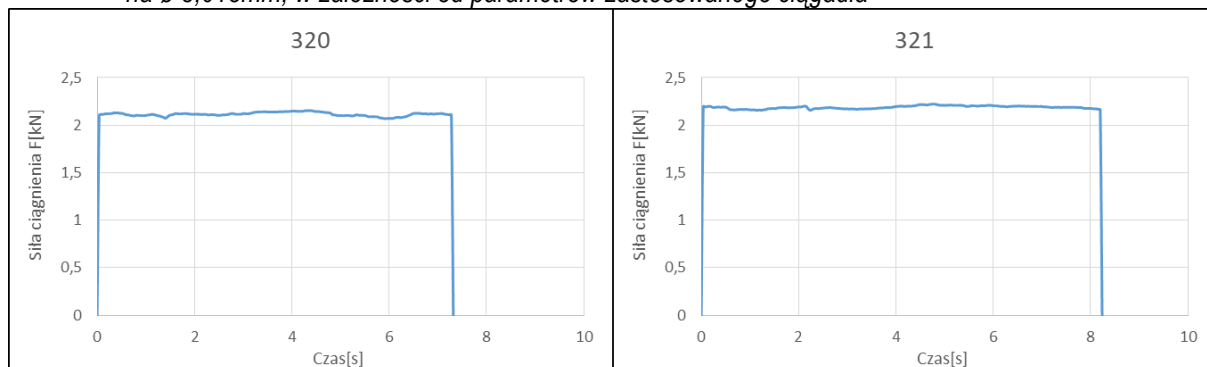
Rys.2.43. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



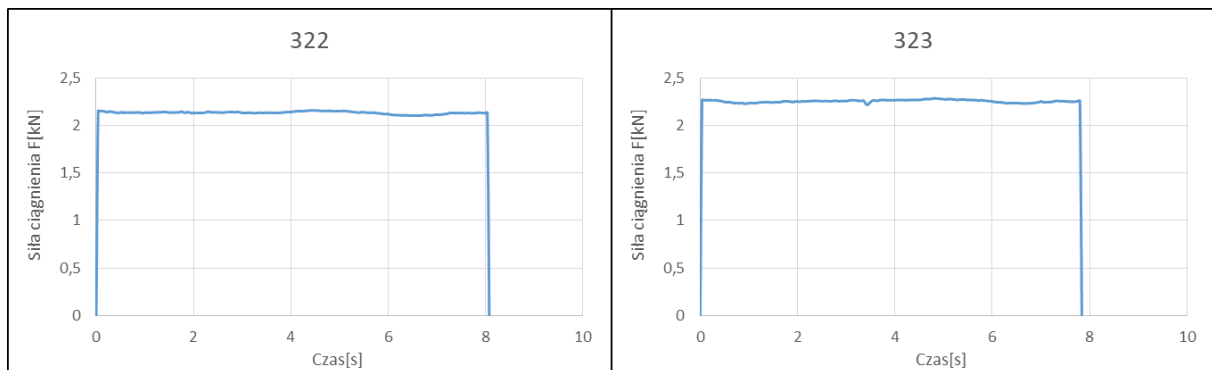
Rys.2.44. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.45. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

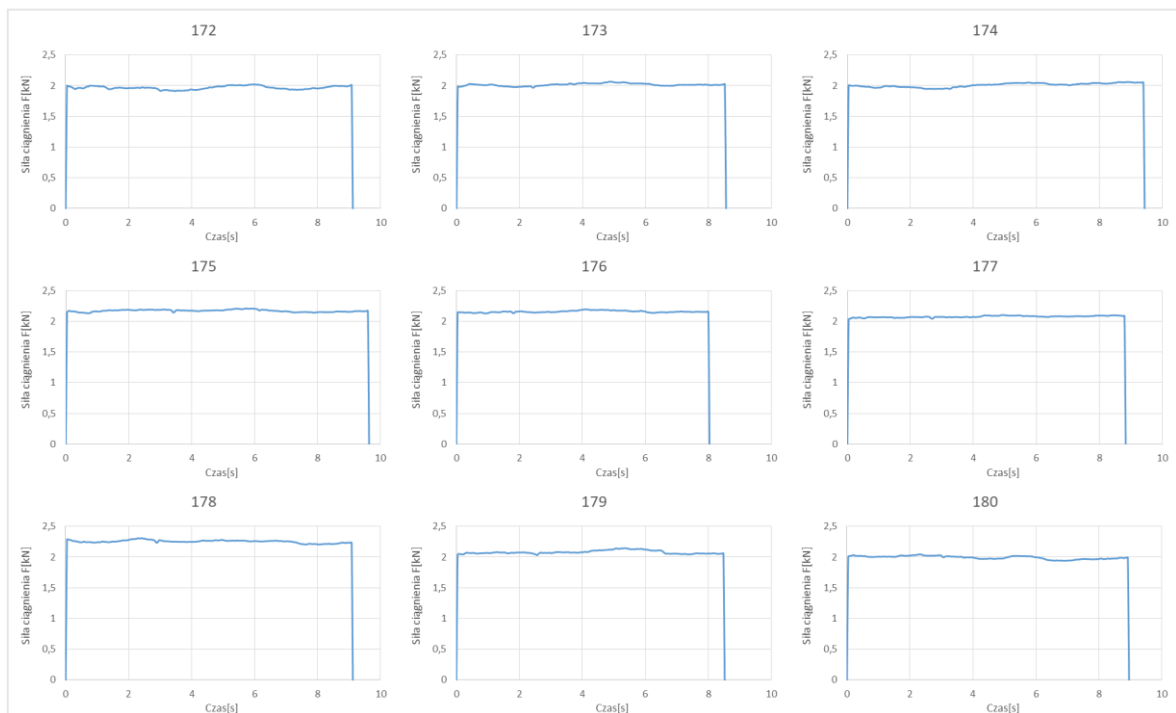


Rys.2.46. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

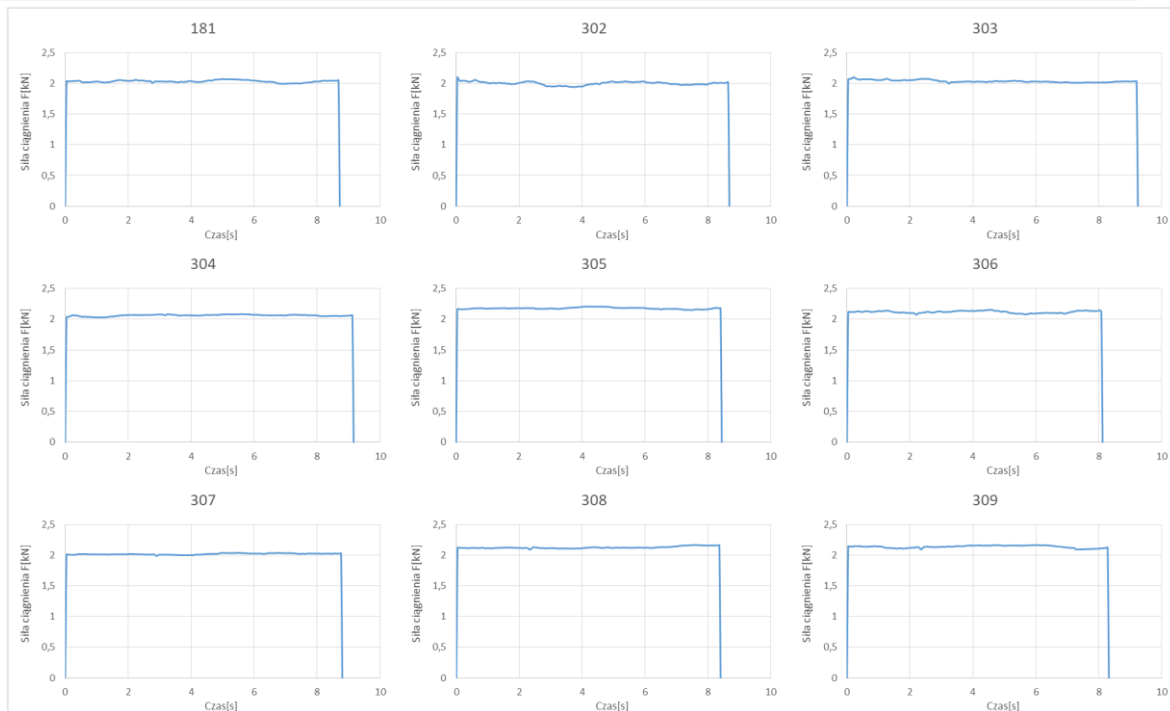


Rys.2.47. Wykresy siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła

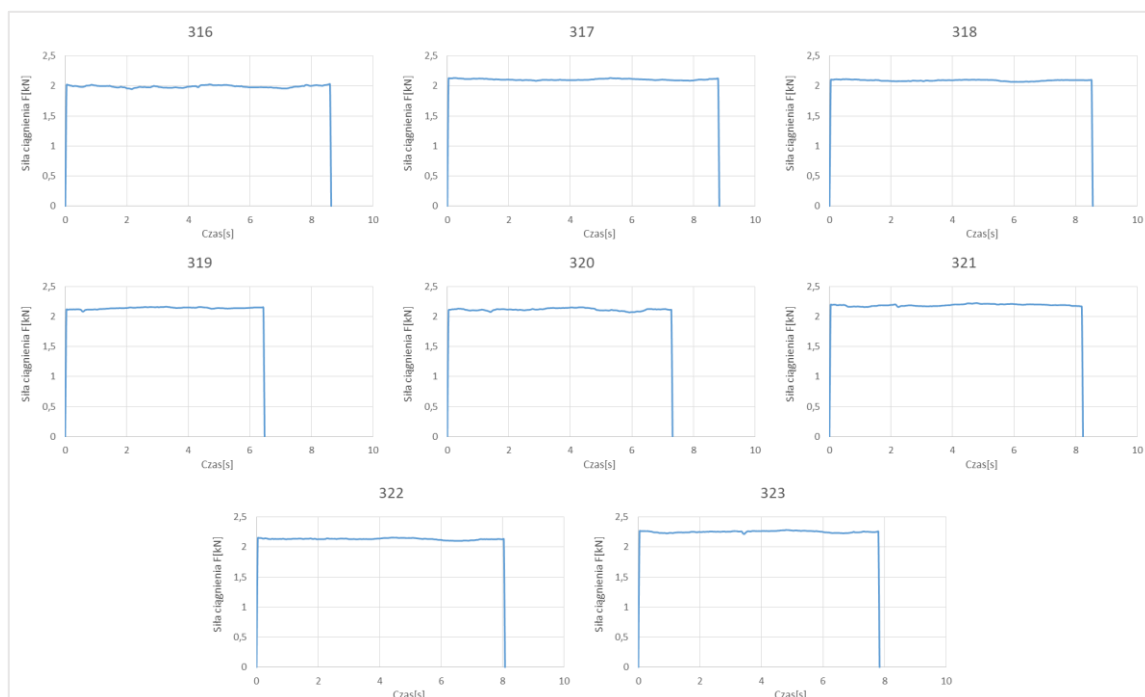
- Zestawienie porównawcze wykresów sił ciągnięcia dla wszystkich zastosowanych wariantów ciągnadeł



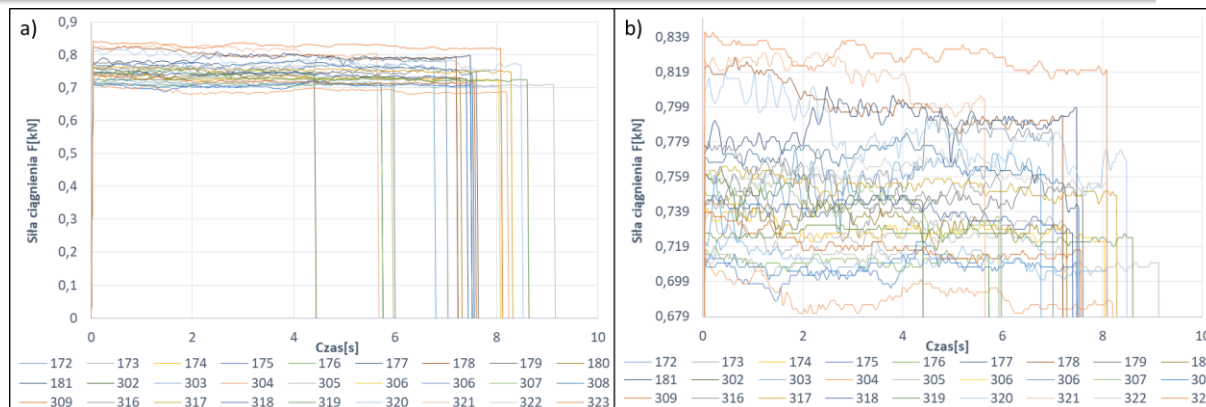
Rys.2.48. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.49. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.50. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągnadła



Rys.2.51. Zestawienie porównawcze siły ciągnięcia w funkcji czasu, drutów stalowych gatunku SG2 dla redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$, w zależności od parametrów zastosowanego ciągadła; a) wykres zbiorczy, b) wykres zbiorczy w powiększeniu

3.0 ANALIZA WYNIKÓW POMIARU SIŁY CIĄNIENIA DRUTÓW DLA RÓŻNYCH PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH CIĄGADEŁ

Uzyskane wyniki pomiaru siły ciągnięcia zostały poddane analizie z punktu widzenia rodzaju ciągniętego materiału oraz geometrii zastosowanego ciągadła.

3.1.1. Druty spawalnicze z aluminium w gat. EN AW-4043

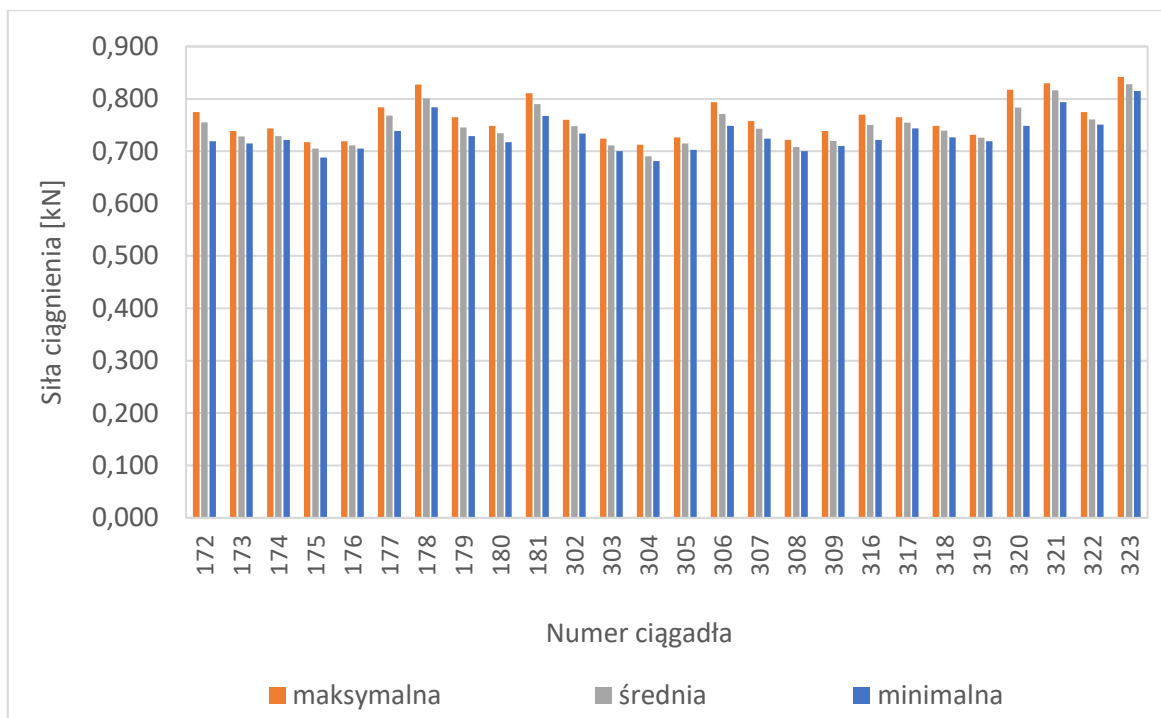
W tablicy 3.7 przedstawiono zbiorcze zestawienie wartości maksymalnej, minimalnej i średniej siły ciągnięcia dla drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 w tabeli 3.1 przedstawiające wartości maksymalne, minimalne i średnie, a na rys. 3.1 ilustracje ww. wartości

Tablica 3.1. Zestawienie parametrów ciągałek stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych EN-AW 4043 wraz z wynikiem siły ciągnięcia, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość siły oraz wyznaczoną wartością średnią na podstawie wszystkich wyników.

Nr ciągadła	Kąt nominalny stożka redukcyjnego 2α	Nominalna długość paska kalibrującego	Nominalna zbieżność kalibrująca 2β	Siła ciągnięcia		
				maksymalna	średnia	minimalna
[Lp]	[°]	[mm]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]
172	12	0,9	0	0,775	0,755	0,719
173	16	0,9	0	0,739	0,728	0,715
174	20	0,9	0	0,743	0,729	0,722
175	24	0,9	0	0,717	0,705	0,688
176	28	0,9	0	0,719	0,711	0,705
177	16	0,6	0	0,784	0,768	0,739
178	16	1,2	0	0,827	0,801	0,784
179	16	0,6	3	0,765	0,745	0,729

NSW3DM – Nowa generacja bezpoślizgowych ciągałek do procesu wytwarzania drutów spawalniczych zintegrowana z linią do ich chemicznego miedziowania”, nr POIR.01.01.01-00-0264/19 w ramach Działania 1.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020 przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

180	16	0,9	3	0,748	0,735	0,717
181	16	1,2	3	0,811	0,790	0,767
302	12	0,6	0	0,760	0,748	0,734
303	20	0,6	0	0,724	0,711	0,700
304	24	0,6	0	0,712	0,691	0,681
305	28	0,6	0	0,727	0,715	0,703
306	12	1,21	0	0,794	0,771	0,748
307	20	1,21	0	0,758	0,743	0,724
308	24	1,21	0	0,722	0,708	0,700
309	28	1,21	0	0,739	0,720	0,710
316	12	0,6	3	0,770	0,750	0,722
317	20	0,6	3	0,765	0,754	0,743
318	24	0,6	3	0,748	0,739	0,727
319	28	0,6	3	0,731	0,726	0,719
320	12	1,21	3	0,818	0,784	0,748
321	20	1,21	3	0,830	0,816	0,794
322	24	1,21	3	0,775	0,761	0,751
323	28	1,21	3	0,842	0,828	0,815



Rys.3.1. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN AW-4043 w zależności od zastosowanego ciąkadła, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość a także wyznaczoną wartością średnią.

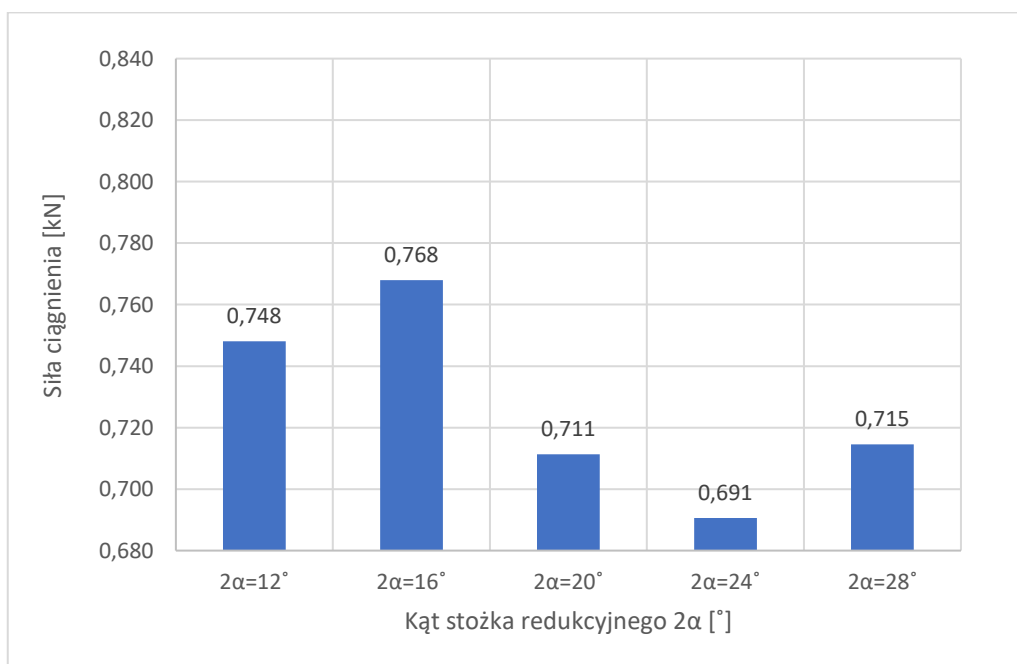
Najwyższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla zastosowania ciąkadła numer 323 o kącie rozwarcia stożka roboczego 28° i długości części kalibrującej 1,2 mm dla którego wartość wyniosła 0,828kN. Najniższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla zastosowania ciąkadła numer 304 charakteryzującego się najmniejszą

długością paska kalibrującego (0,6 mm) która wynosi 0,691kN. Szczegółowa analiza wpływu wielkości kąta rozwarcia stożka roboczego oraz długości części kalibrującej dla drutów EN AW 4043 przedstawiono poniżej.

Na rys. 3.2 przedstawiono zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.2. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN AW-4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąta stożka redukcyjnego 2α	Długości paska kalibrującego	Zbieżności kalibrującej 2β	EN-AW 4043
	[°]	[mm]	[°]	[kN]
302	12	0,6	-	0,748
177	16	0,6	-	0,768
303	20	0,6	-	0,711
304	24	0,6	-	0,691
305	28	0,6	-	0,715



Rys.3.2. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm

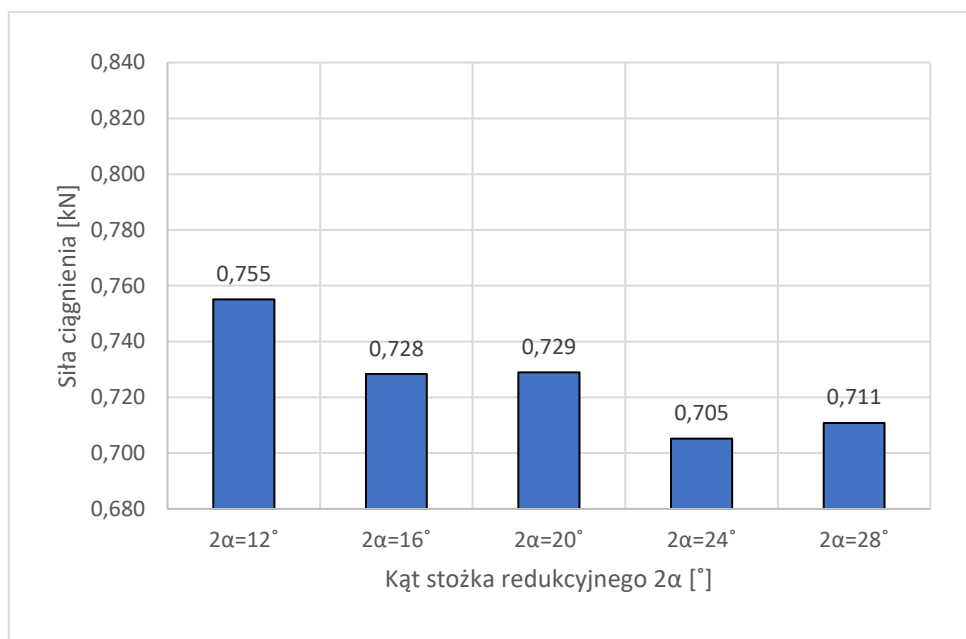
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 177
- Najniższa : dla ciągadła nr 304

Na rys. 3.3 przedstawiono zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.3. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych EN-AW 4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia EN-AW 4043
	Kąta stożka redukcyjnego 2α	Długości paska kalibrującego	Zbieżności kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
172	12	0,9	-	0,755
173	16	0,9	-	0,728
174	20	0,9	-	0,729
175	24	0,9	-	0,705
176	28	0,9	-	0,711



Rys.3.3. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm

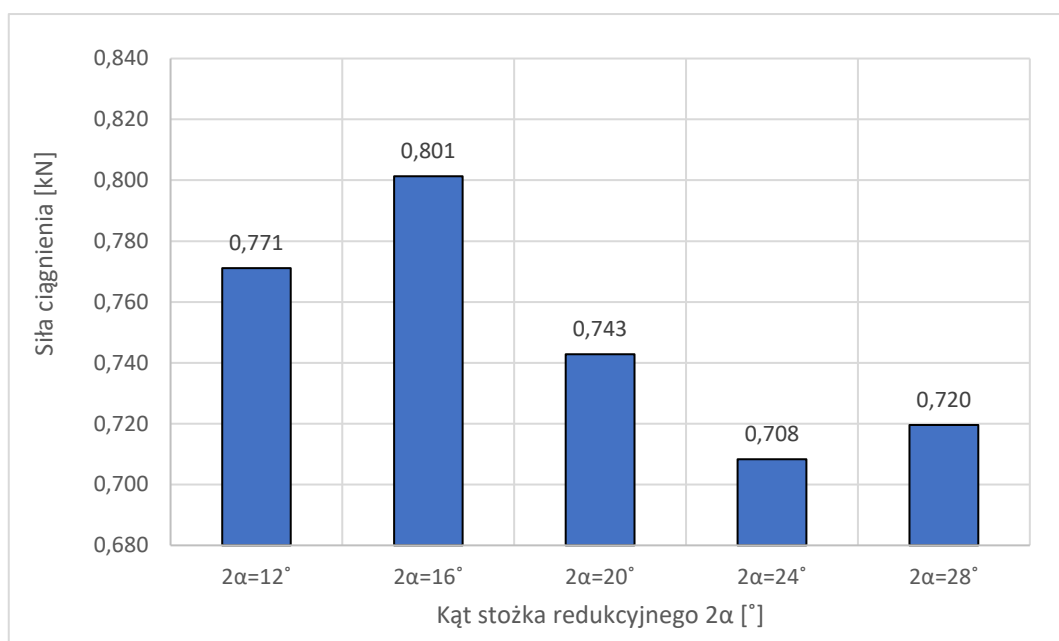
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 172
- Najniższa : dla ciągadła nr 175

Na rys. 3.4 przedstawiono zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°

Tablica 3.4. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąta stożka redukcyjnego 2α	Długości paska kalibrującego	Zbieżności kalibrującej 2β	EN-AW 4043
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
306	12	1,21	-	0,771
178	16	1,2	-	0,801
307	20	1,21	-	0,743
308	24	1,21	-	0,708
309	28	1,21	-	0,720



Rys.3.4. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm

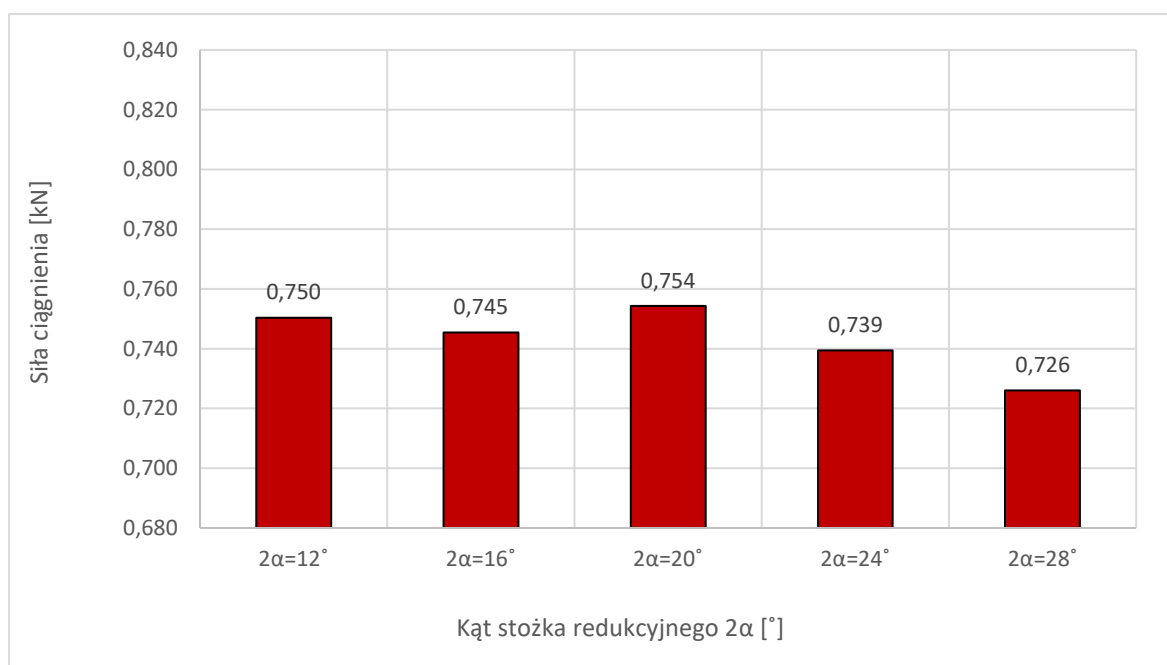
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 178
- Najniższa : dla ciągadła nr 308

Na rys. 3.5 przedstawiono zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.5. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN AW-4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąta stożka redukcyjnego 2α	Długości paska kalibrującego	Zbieżności kalibrującej 2β	EN-AW 4043
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
316	12	0,6	3	0,750
179	16	0,6	3	0,745
317	20	0,6	3	0,754
318	24	0,6	3	0,739
319	28	0,6	3	0,726



Rys.3.5. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

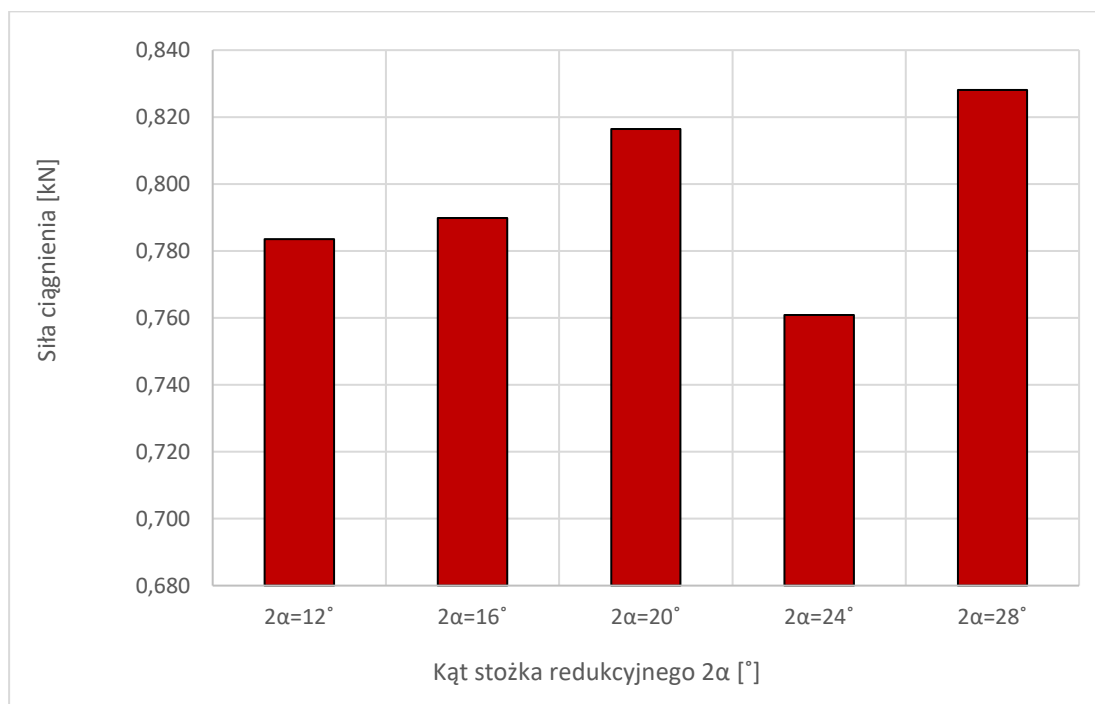
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 317
- Najniższa : dla ciągadła nr 319

Na rys. 3.6 przedstawiono zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN AW-4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.6. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN AW-4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
320	12	1,21	3	0,784
181	16	1,2	3	0,790
321	20	1,21	3	0,816
322	24	1,21	3	0,761
323	28	1,21	3	0,828



Rys.3.6. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

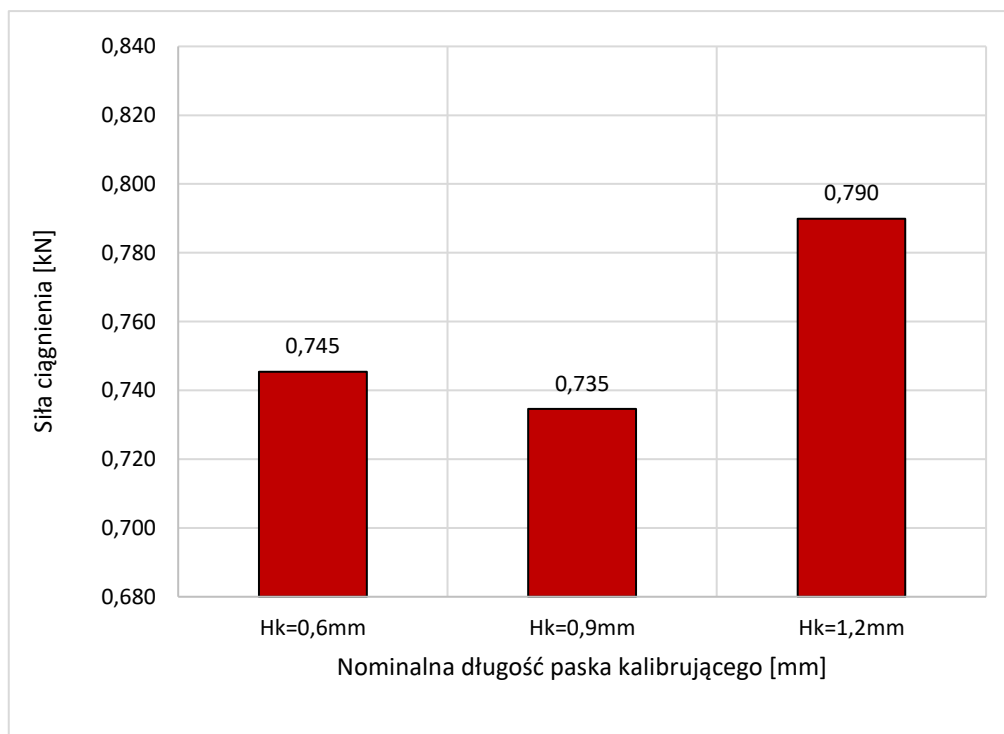
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 323
- Najniższa : dla ciągadła nr 322

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i o zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego H_k równego; 0,6; 0,9 i 1,2 przedstawiono w tablicy 3.7 i na rys. 3.7.

Tablica 3.7. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
179	16	0,6	3	0,745
180	16	0,9	3	0,735
181	16	1,2	3	0,790



Rys.3.7. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego H_k ; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałej nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$

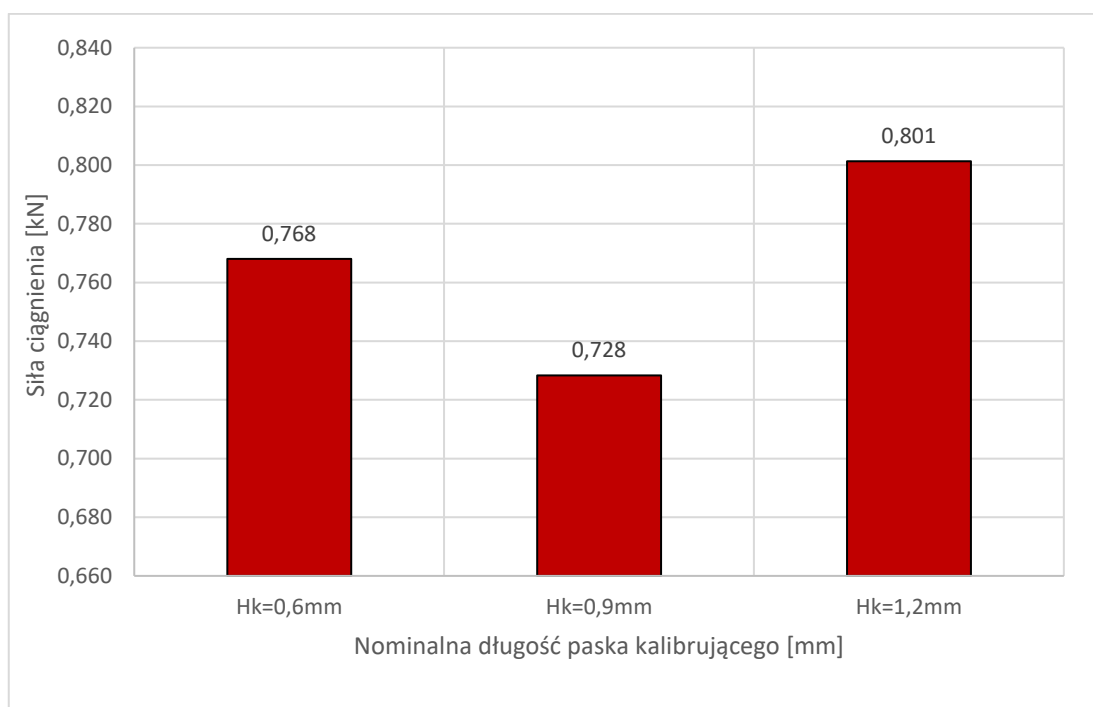
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 181
- Najniższa : dla ciągadła nr 180

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β i zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego H_k równego; 0,6; 0,9 i 1,2 przedstawiono w tablicy 3.14 i na rys. 3.8.

Tablica 3.8. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
177	16	0,6	-	0,768
173	16	0,9	-	0,728
178	16	1,2	-	0,801



Rys.3.8. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego H_k ; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałego nominalnego kąta stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$

Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 178
- Najniższa : dla ciągadła nr 173

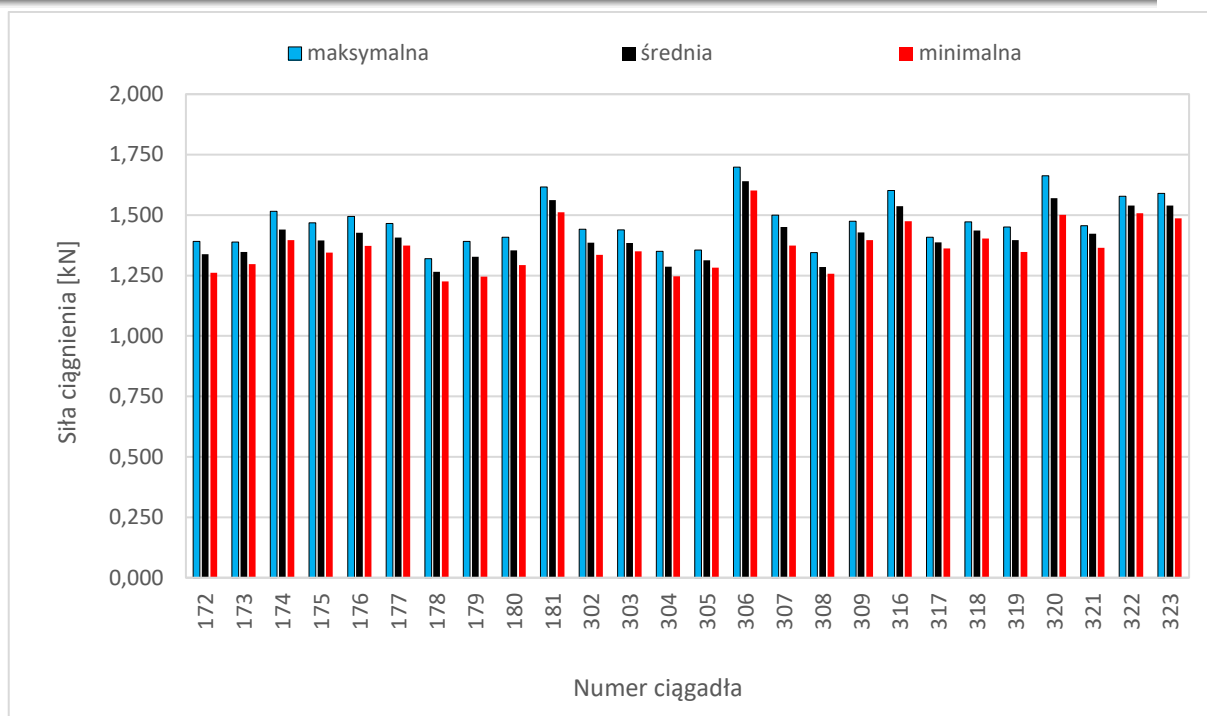
3.1.1. Druty spawalnicze z aluminium w gat. EN AW-5356

Zestawienie wyników sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 w tabeli 3.9 przedstawiające wartości maksymalne, minimalne i średnie oraz ich ilustracje na rys. 3.9.

Tablica 3.9. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz z wynikiem siły ciągnięcia, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość siły oraz wyznaczoną wartością średnią na podstawie wszystkich wyników.

Nr ciągadła	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt zbieżności części kalibrującej 2β	Siła ciągnięcia		
				maksymalna	średnia	minimalna
[Lp]	[°]	[mm]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]
172	12	0,9	0	1,391	1,338	1,261
173	16	0,9	0	1,388	1,347	1,297
174	20	0,9	0	1,516	1,441	1,396
175	24	0,9	0	1,468	1,395	1,345
176	28	0,9	0	1,494	1,427	1,372
177	16	0,6	0	1,465	1,407	1,374
178	16	1,2	0	1,319	1,266	1,225
179	16	0,6	3	1,391	1,327	1,245
180	16	0,9	3	1,408	1,354	1,293
181	16	1,2	3	1,616	1,562	1,511
302	12	0,6	0	1,441	1,386	1,336
303	20	0,6	0	1,439	1,384	1,350
304	24	0,6	0	1,350	1,286	1,247
305	28	0,6	0	1,355	1,312	1,283
306	12	1,21	0	1,698	1,640	1,602
307	20	1,21	0	1,499	1,451	1,374
308	24	1,21	0	1,345	1,286	1,257
309	28	1,21	0	1,475	1,429	1,396
316	12	0,6	3	1,602	1,536	1,475
317	20	0,6	3	1,408	1,387	1,362
318	24	0,6	3	1,472	1,436	1,403
319	28	0,6	3	1,451	1,396	1,348
320	12	1,21	3	1,662	1,569	1,501
321	20	1,21	3	1,456	1,422	1,364
322	24	1,21	3	1,578	1,539	1,508
323	28	1,21	3	1,590	1,540	1,487

Na podstawie wyników pomiaru siły stwierdzono, że najwyższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla w przypadku ciągadła numer 306 dla którego wartość wyniosła 1,640kN. Najniższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla zastosowania ciągadła numer 178 która wynosi 1,266kN. Na rys. 3.62 przedstawiano graficzne zestawienie wyników sił ciągnięcia drutów aluminiowych w gatunku EN-AW 4043.

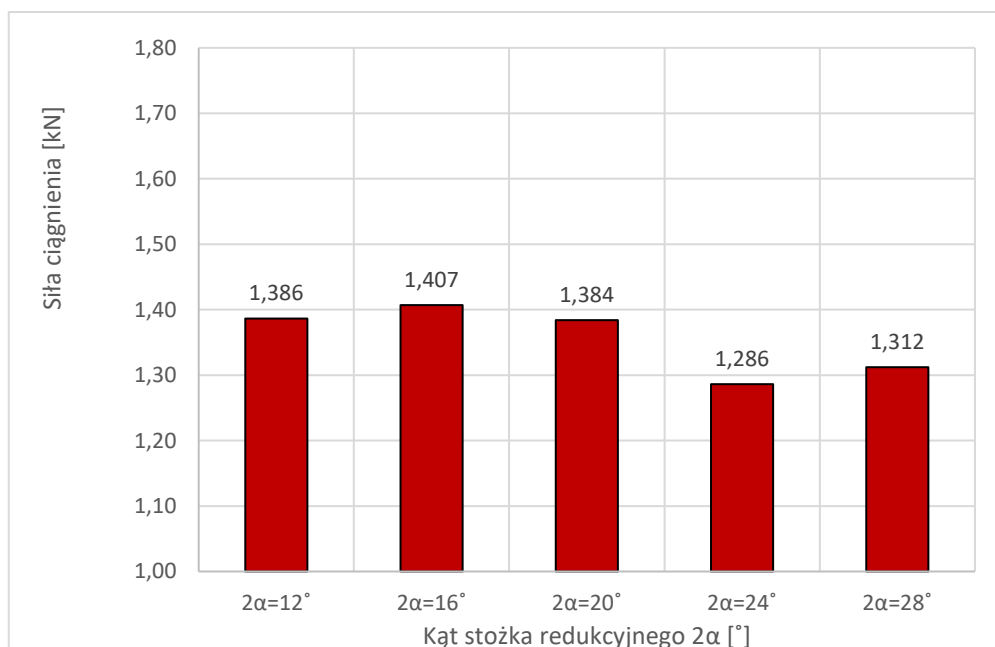


Rys.3.9. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 w zależności od zastosowanego ciągadła, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość a także wyznaczoną wartością średnią.

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.10 i na rys. 3.10.

Tablica 3.10. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 5356
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
302	12	0,6	-	1,386
177	16	0,6	-	1,407
303	20	0,6	-	1,384
304	24	0,6	-	1,286
305	28	0,6	-	1,312



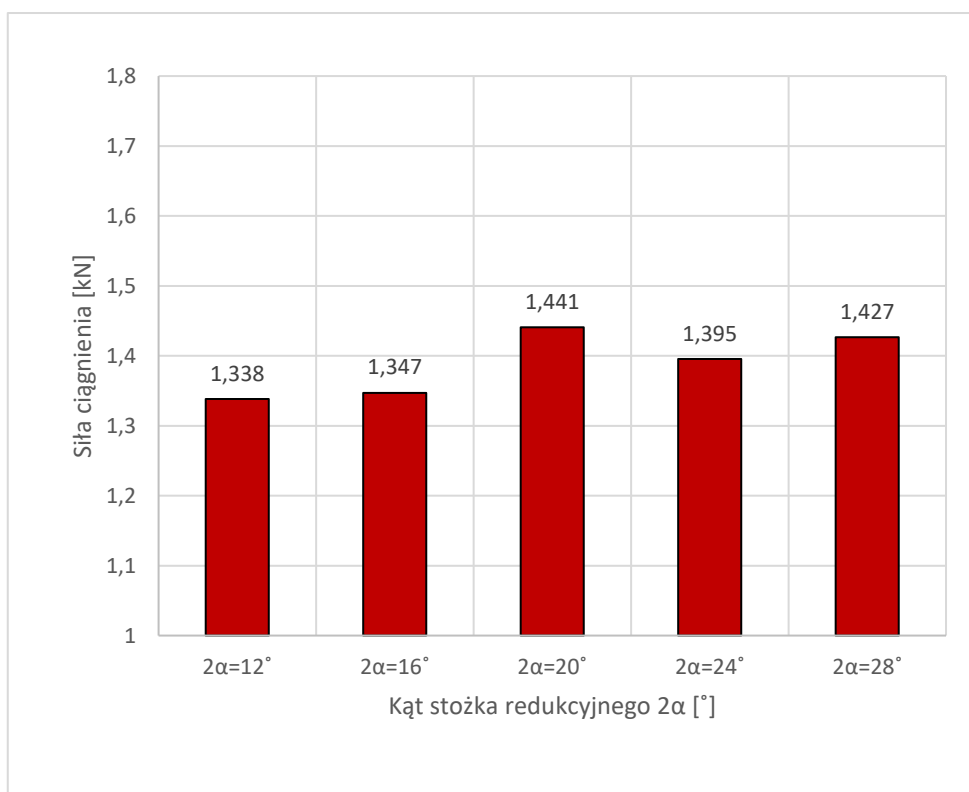
Rys.3.10. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm

Siła ciągnięcia: Najwyższa : dla ciągadła nr 177
Najniższa : dla ciągadła nr 304

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.11 i na rys. 3.11.

Tablica 3.11. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia EN-AW 5356
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
172	12	0,9	-	1,338
173	16	0,9	-	1,347
174	20	0,9	-	1,441
175	24	0,9	-	1,395
176	28	0,9	-	1,427



Rys.3.11. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm

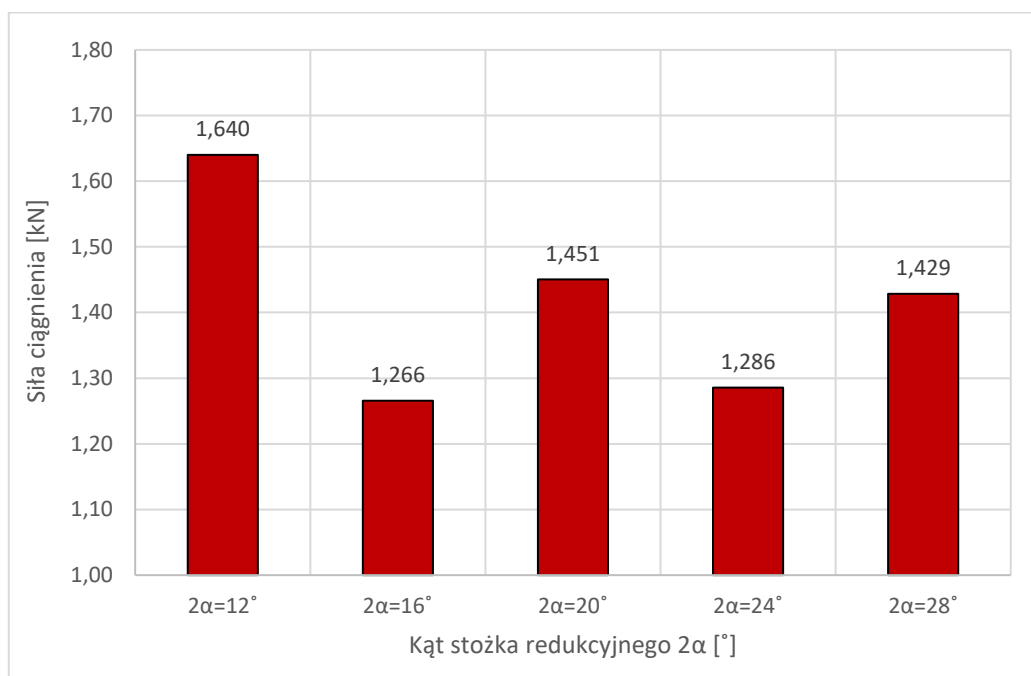
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 174
- Najniższa : dla ciągadła nr 172

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.12 i na rys. 3.12.

Tablica 3.12. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 5356
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
306	12	1,21	-	1,640
178	16	1,2	-	1,266
307	20	1,21	-	1,451
308	24	1,21	-	1,286
309	28	1,21	-	1,429



Rys.3.12. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm

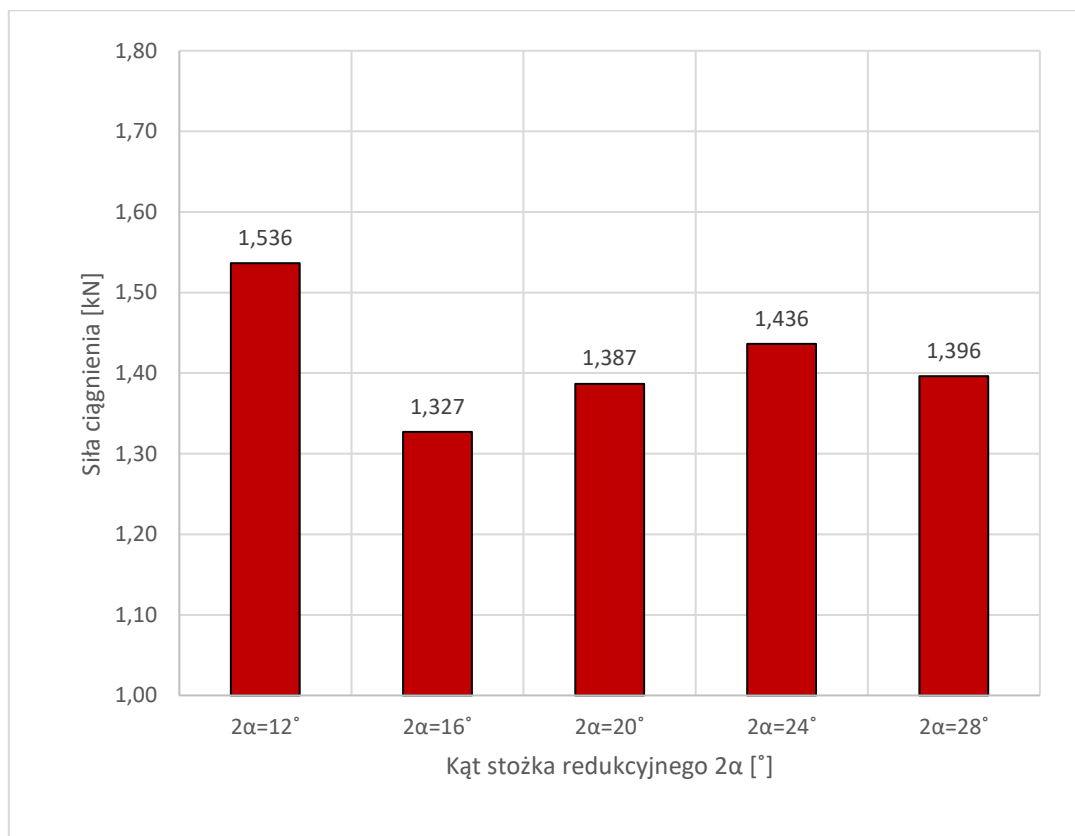
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 306
- Najniższa : dla ciągadła nr 178

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.13 i na rys. 3.13.

Tablica 3.13. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 5356
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
316	12	0,6	3	1,536
179	16	0,6	3	1,327
317	20	0,6	3	1,387
318	24	0,6	3	1,436
319	28	0,6	3	1,396



Rys.3.13. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

Siła ciągnięcia:

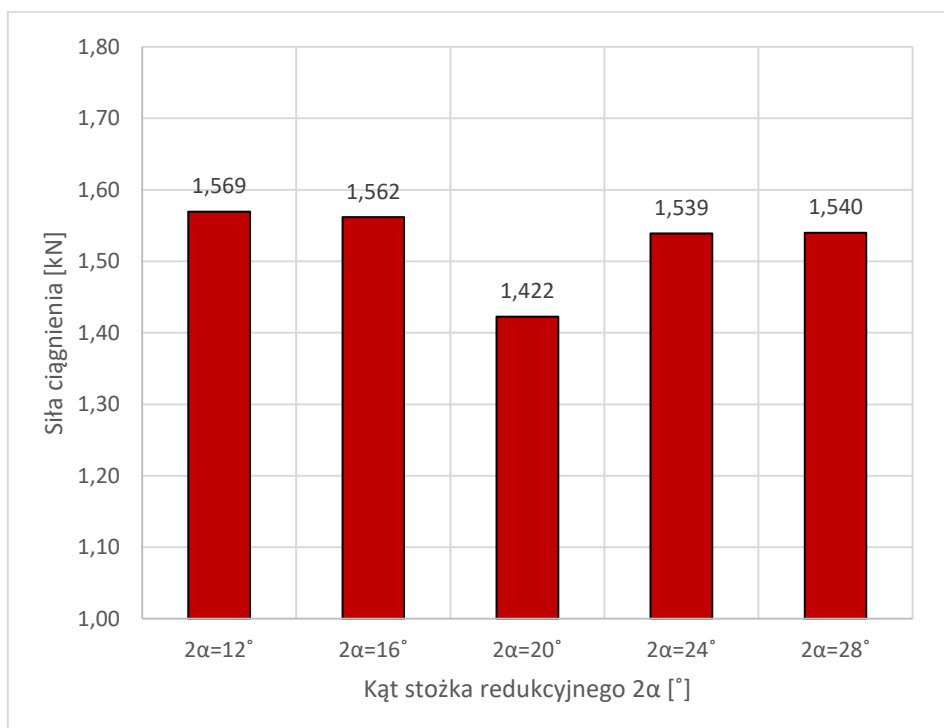
- Najwyższa : dla ciągadła nr 316
- Najniższa : dla ciągadła nr 179

NSW3DM – Nowa generacja bezpoślizgowych ciągarek do procesu wytwarzania drutów spawalniczych zintegrowana z linią do ich chemicznego miedziowania”, nr POIR.01.01.01-00-0264/19 w ramach Działania 1.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020 przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.14 i na rys. 3.14.

Tablica 3.14. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 5356
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
320	12	1,21	3	1,569
181	16	1,2	3	1,562
321	20	1,21	3	1,422
322	24	1,21	3	1,539
323	28	1,21	3	1,540



Rys.3.14. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

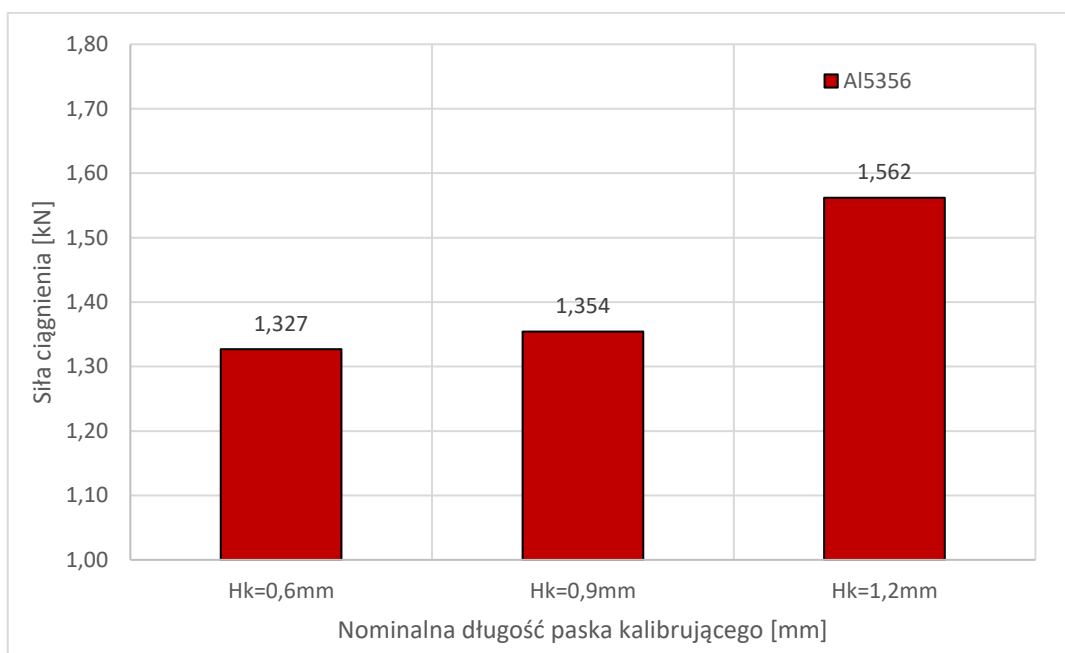
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 320
- Najniższa : dla ciągadła nr 321

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i o zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2mm przedstawiono w tablicy 3.15 i na rys. 3.15.

Tablica 3.15. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 5356
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
179	16	0,6	3	1,327
180	16	0,9	3	1,354
181	16	1,2	3	1,562



Rys.3.15. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałej nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$

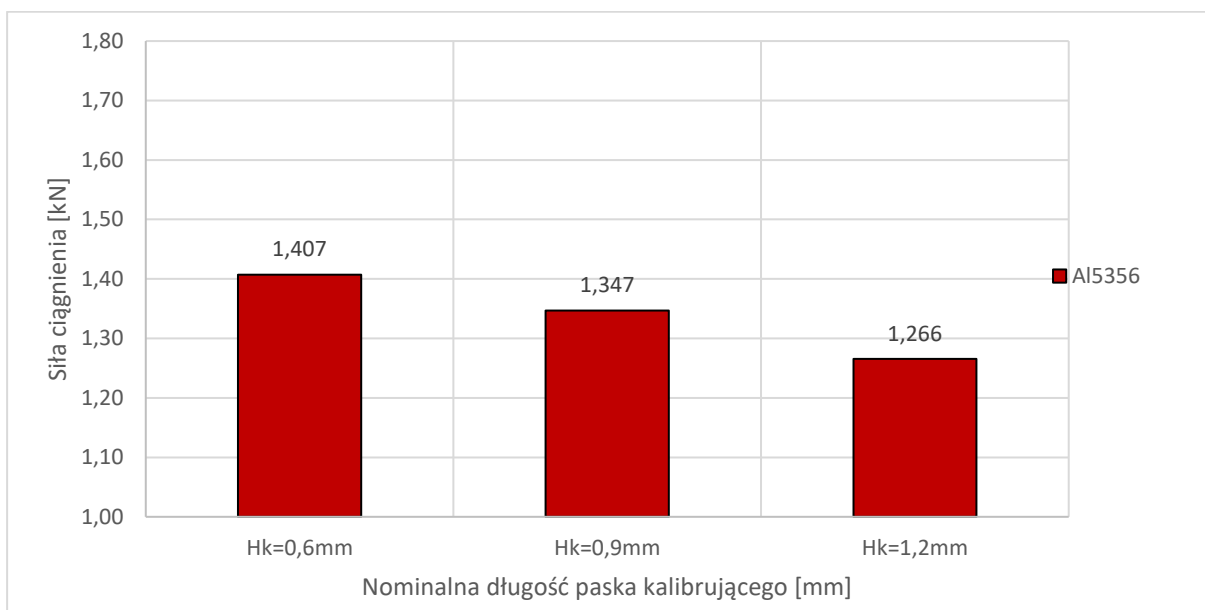
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 181
- Najniższa : dla ciągadła nr 179

Zestawienie sił ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β i zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2 przedstawiono w tablicy 3.16 i na rys. 3.16.

Tablica 3.16. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Kąt stożka redukcyjnego 2α
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
177	16	0,6	0	1,407
173	16	0,9	0	1,347
178	16	1,2	0	1,266



Rys.3.16. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałego nominalnego kąta stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β

Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 177
- Najniższa : dla ciągadła nr 178

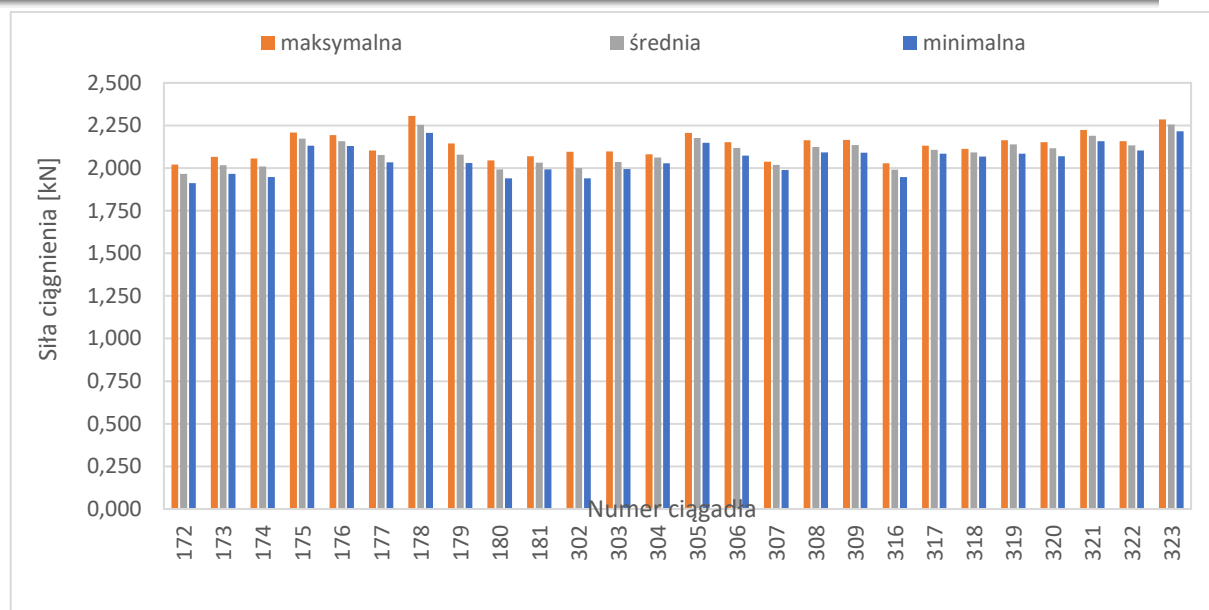
3.1.1. Druty spawalnicze ze stali w gat. SG2

Zestawienie wyników sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 w tabeli nr 3.17 przedstawiające wartości maksymalne, minimalne i średnie, a ich ilustracja na rys. 3.17.

Tablica 3.17. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz z wynikiem siły ciągnięcia, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość siły oraz wyznaczoną wartością średnią na podstawie wszystkich wyników

Nr ciągadła	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Siła ciągnięcia		
				maksymalna	średnia	minimalna
[Lp]	[°]	[mm]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]
172	12	0,9	0	2,021	1,967	1,911
173	16	0,9	0	2,065	2,016	1,966
174	20	0,9	0	2,057	2,009	1,947
175	24	0,9	0	2,209	2,172	2,132
176	28	0,9	0	2,194	2,159	2,129
177	16	0,6	0	2,103	2,077	2,033
178	16	1,2	0	2,307	2,253	2,206
179	16	0,6	3	2,144	2,080	2,031
180	16	0,9	3	2,045	1,993	1,940
181	16	1,2	3	2,069	2,032	1,993
302	12	0,6	0	2,096	1,999	1,940
303	20	0,6	0	2,098	2,036	1,995
304	24	0,6	0	2,081	2,062	2,029
305	28	0,6	0	2,206	2,177	2,149
306	12	1,21	0	2,153	2,118	2,074
307	20	1,21	0	2,038	2,018	1,988
308	24	1,21	0	2,163	2,125	2,093
309	28	1,21	0	2,165	2,136	2,091
316	12	0,6	3	2,029	1,990	1,947
317	20	0,6	3	2,132	2,107	2,084
318	24	0,6	3	2,113	2,091	2,067
319	28	0,6	3	2,163	2,140	2,084
320	12	1,21	3	2,153	2,116	2,069
321	20	1,21	3	2,223	2,189	2,158
322	24	1,21	3	2,158	2,134	2,103
323	28	1,21	3	2,285	2,255	2,216

Na podstawie zarejestrowanych i zestawionych w tabeli nr 20 wyników, najwyższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla zastosowania ciągadła numer 323 dla którego wartość wyniosła 2,255kN. Najniższą wartość siły ciągnięcia uzyskano dla zastosowania ciągadła numer 172 która wynosi 1,967kN.

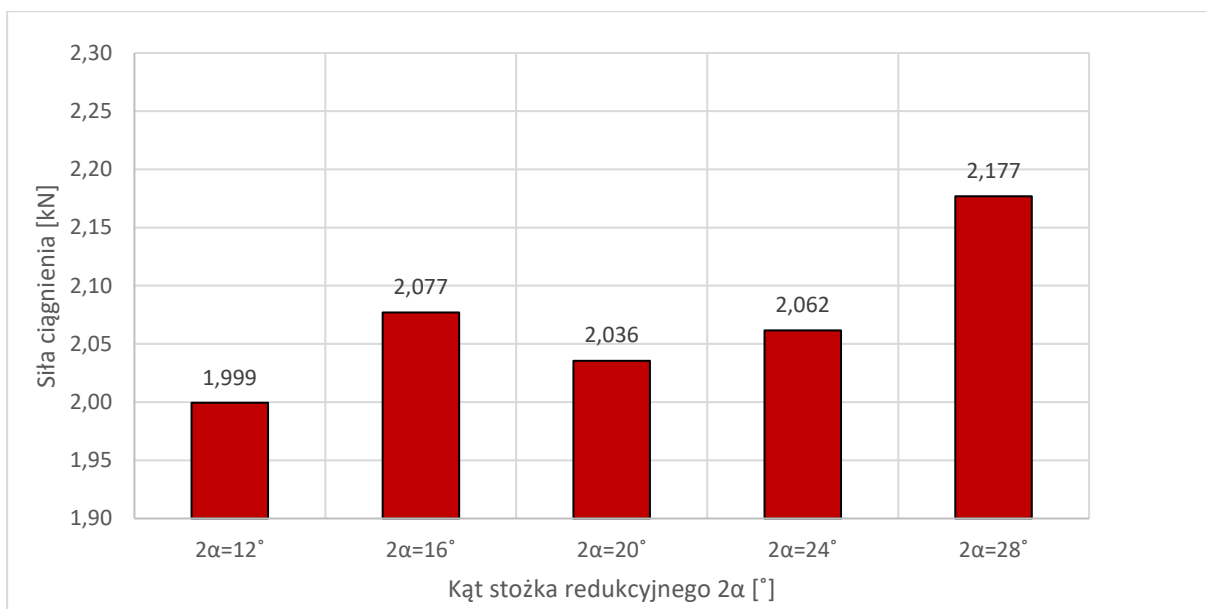


Rys.3.17. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 w zależności od zastosowanego ciągadła, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość a także wyznaczoną wartością średnią.

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.18 oraz na rys. 3.18.

Tablica 3.18. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Kąt stożka redukcyjnego 2α
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
302	12	0,6	-	1,999
177	16	0,6	-	2,077
303	20	0,6	-	2,036
304	24	0,6	-	2,062
305	28	0,6	-	2,177



Rys.3.18. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm

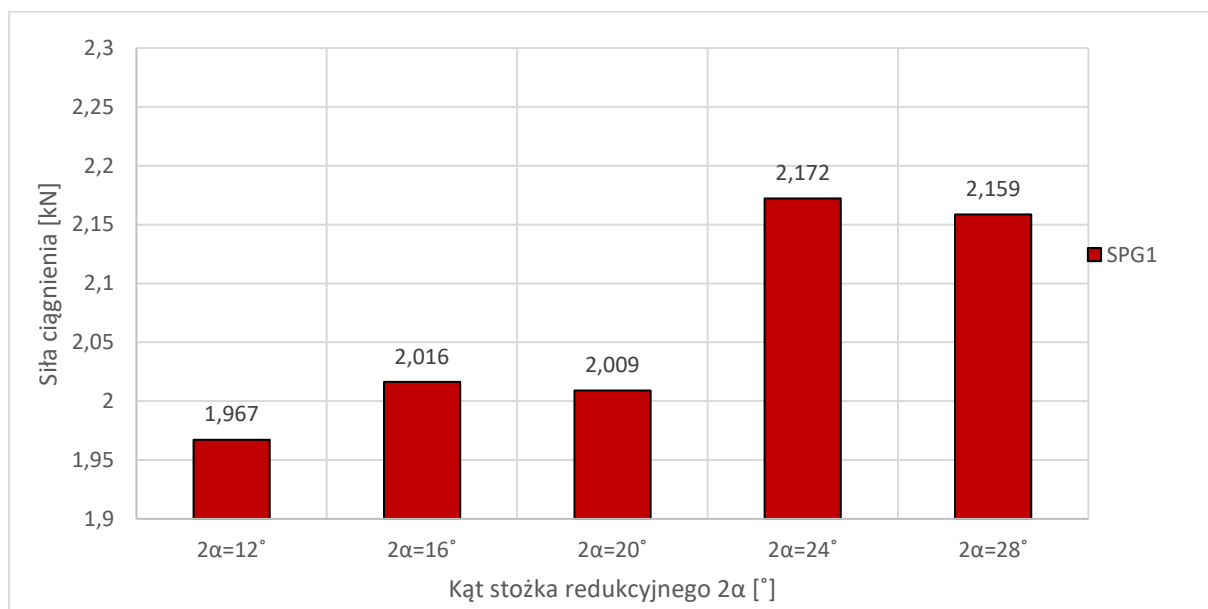
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 305
- Najniższa : dla ciągadła nr 302

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.19 oraz na rys. 3.19.

Tablica 3.19. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Kąt stożka redukcyjnego 2α
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
172	12	0,9	-	1,967
173	16	0,9	-	2,016
174	20	0,9	-	2,009
175	24	0,9	-	2,172
176	28	0,9	-	2,159



Rys.3.19. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm

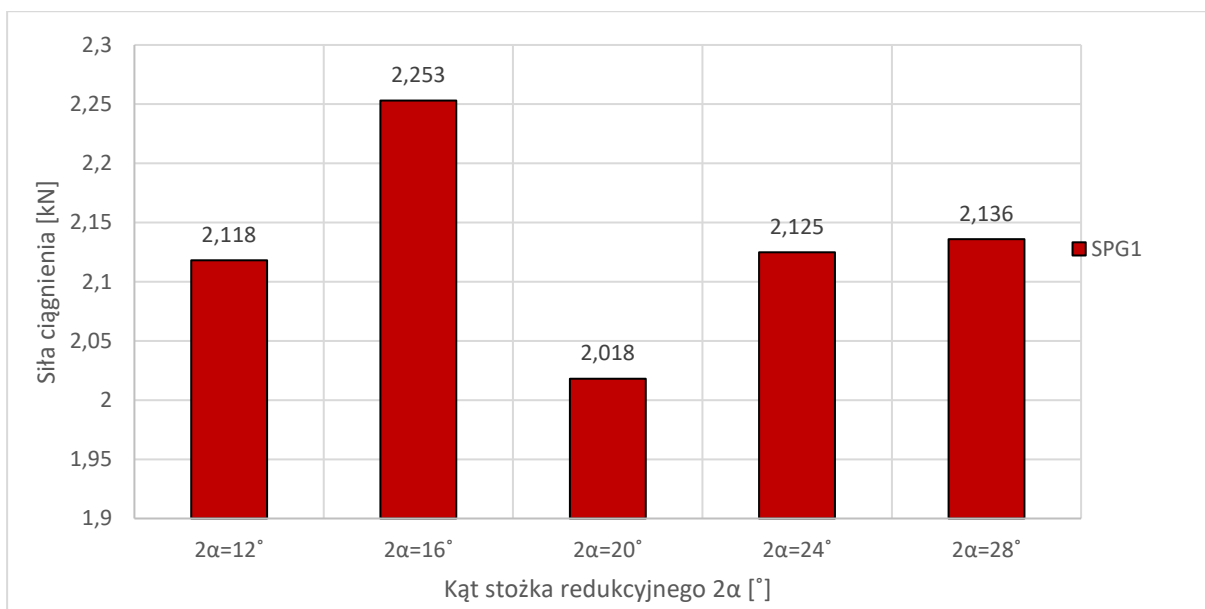
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 175
- Najniższa : dla ciągadła nr 172

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono na w tablicy 3.20 i na rys. 3.20.

Tablica 3.20. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
306	12	1,21	-	2,118
178	16	1,2	-	2,253
307	20	1,21	-	2,018
308	24	1,21	-	2,125
309	28	1,21	-	2,136



Rys.3.20. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm

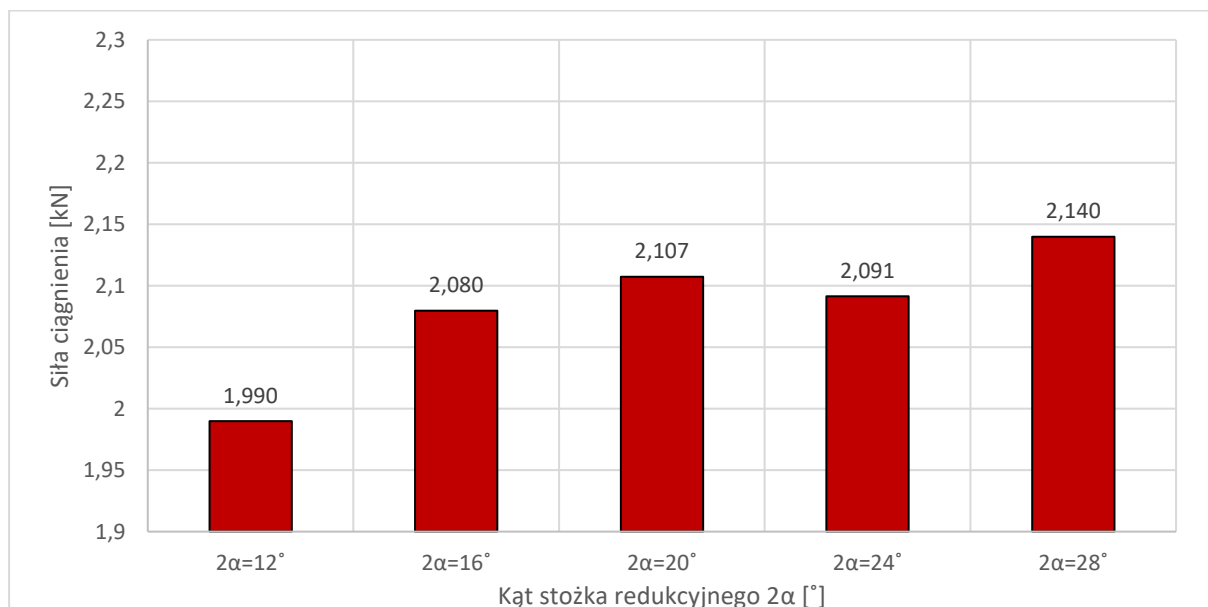
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 178
- Najniższa : dla ciągadła nr 307

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° przedstawiono w tablicy 3.21 i na rys. 3.21.

Tablica 3.21. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			SG2
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
316	12	0,6	3	1,990
179	16	0,6	3	2,080
317	20	0,6	3	2,107
318	24	0,6	3	2,091
319	28	0,6	3	2,140



Rys.3.21. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

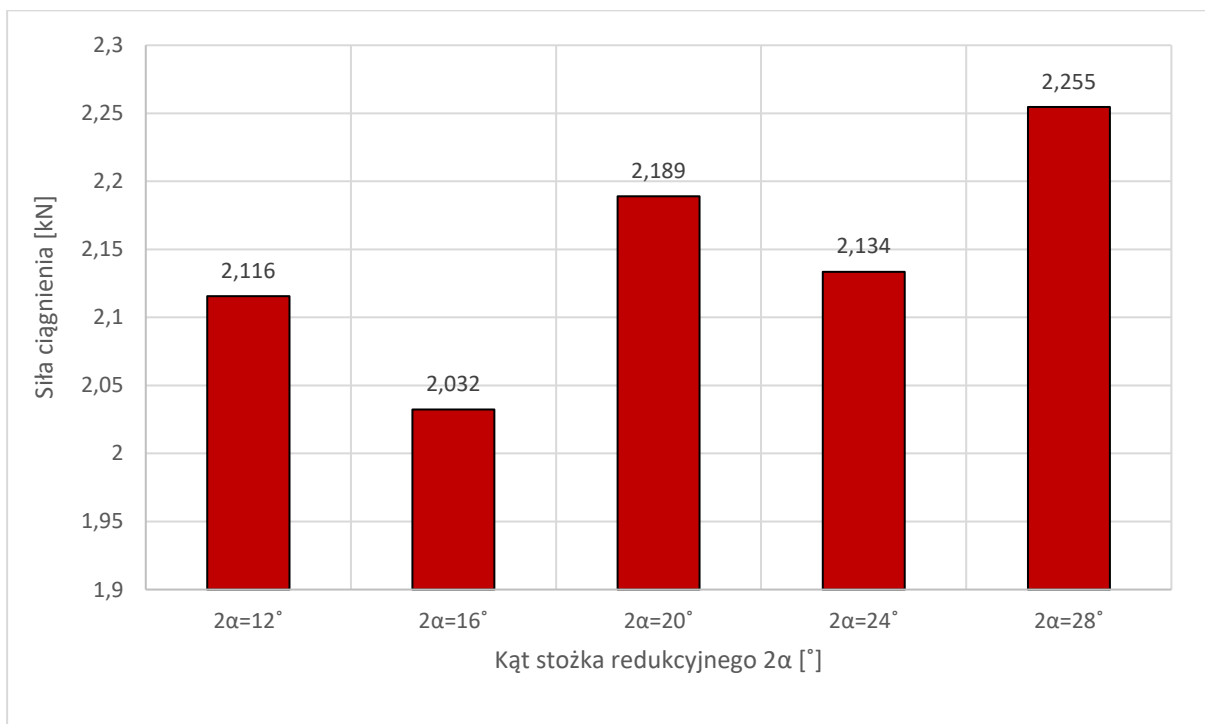
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 319
- Najniższa : dla ciągadła nr 316

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28° ;24;28° przedstawiono w tablicy 3.22 i na rys. 3.22.

Tablica 3.22. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			SG2
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
320	12	1,21	3	2,116
181	16	1,2	3	2,032
321	20	1,21	3	2,189
322	24	1,21	3	2,134
323	28	1,21	3	2,255



Rys.3.22. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

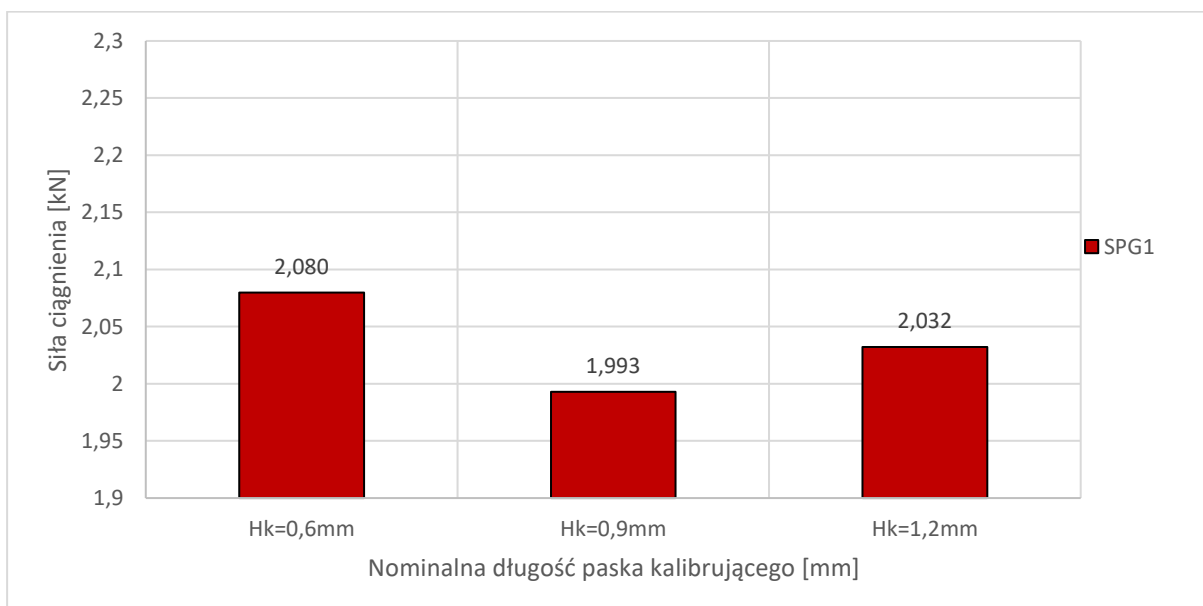
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 323
- Najniższa : dla ciągadła nr 181

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i o zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6mm; 0,9mm i 1,2mm przedstawiono w tablicy 3.29 i na rys. 3.2.

Tablica 3.23. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			SG2
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]
179	16	0,6	3	2,080
180	16	0,9	3	1,993
181	16	1,2	3	2,032



Rys.3.23. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałej nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$

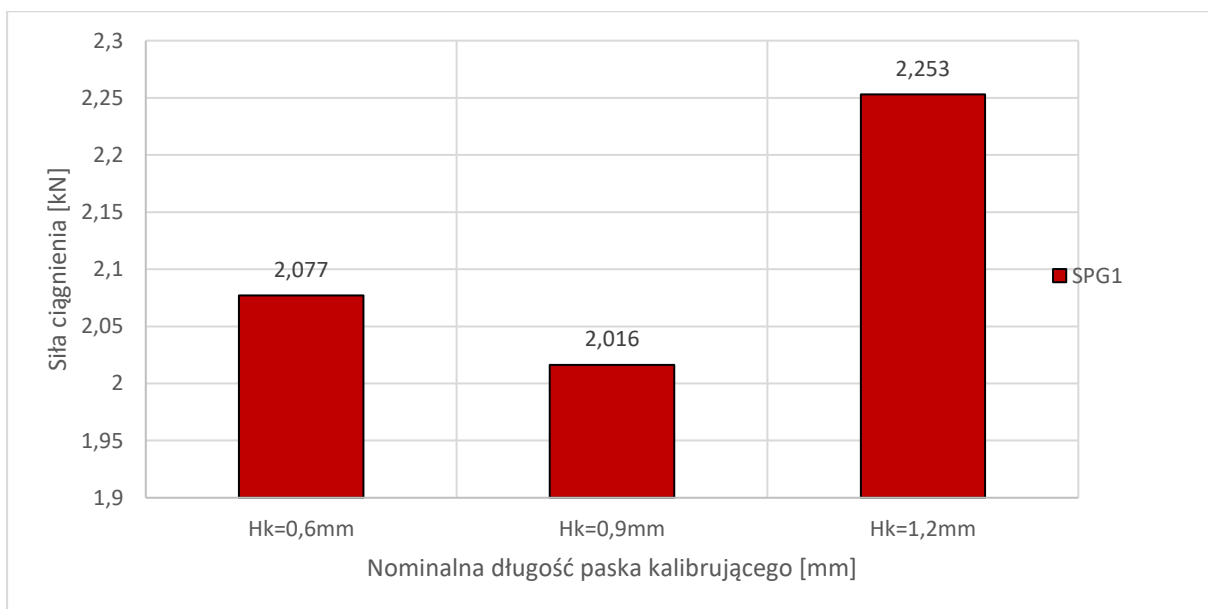
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 179
- Najniższa : dla ciągadła nr 180

Zestawienie sił ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β i zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk: 0,6mm; 0,9mm i 1,2mm przedstawiono w tablicy 3.24 i na rys. 3.24.

Tablica 3.24. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 wraz ze średnią wartością siły ciągnięcia

Nr ciągadła	Wartość nominalna			SG2
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	
	[°]	[mm]	[°]	[kN]
177	16	0,6	-	2,077
173	16	0,9	-	2,016
178	16	1,2	-	2,253



Rys.3.24. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów stalowych gatunku SG2 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałego nominalnego kąta stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β

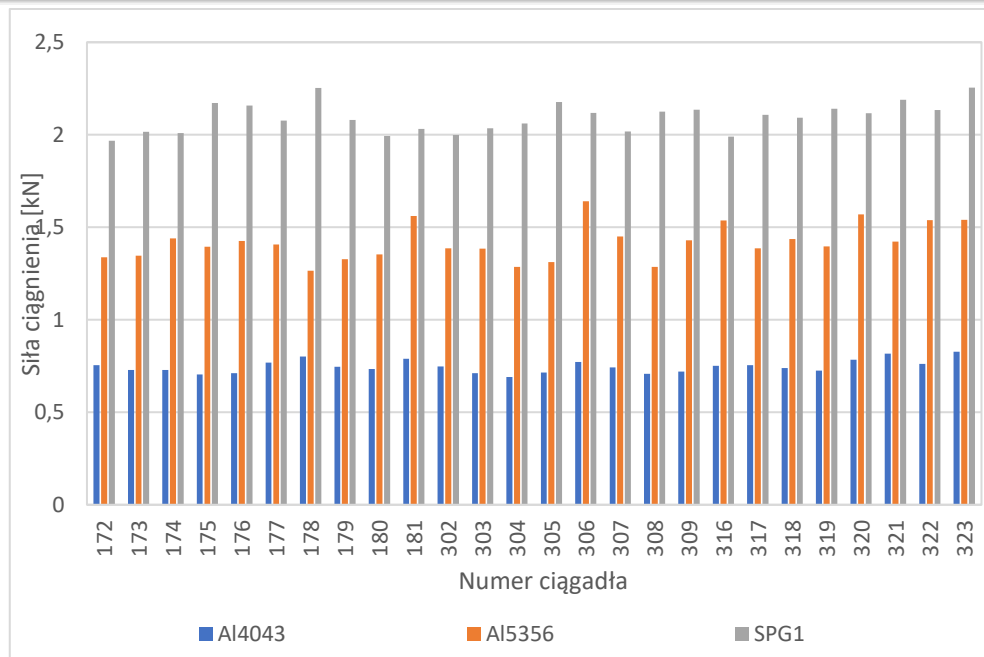
Siła ciągnięcia:

- Najwyższa : dla ciągadła nr 178
- Najniższa : dla ciągadła nr 173

W tablicy 3.25 przedstawiono zbiorcze zestawienie wartości siły ciągnięcia.

Tablica 3.25. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia drutów dla wszystkich wariantów materiałowych wraz z wynikami siły ciągnięcia.

Nr ciągadła	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Rodzaj materiału		
				EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
				Średnia siła ciągnięcia		
[Lp]	[°]	[mm]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]
172	12	0,9	-	0,755	1,338	1,967
173	16	0,9	-	0,728	1,347	2,016
174	20	0,9	-	0,729	1,441	2,009
175	24	0,9	-	0,705	1,395	2,172
176	28	0,9	-	0,711	1,427	2,159
177	16	0,6	-	0,768	1,407	2,077
178	16	1,2	-	0,801	1,266	2,253
179	16	0,6	3	0,745	1,327	2,080
180	16	0,9	3	0,735	1,354	1,993
181	16	1,2	3	0,790	1,562	2,032
302	12	0,6	-	0,748	1,386	1,999
303	20	0,6	-	0,711	1,384	2,036
304	24	0,6	-	0,691	1,286	2,062
305	28	0,6	-	0,715	1,312	2,177
306	12	1,21	-	0,771	1,640	2,118
307	20	1,21	-	0,743	1,451	2,018
308	24	1,21	-	0,708	1,286	2,125
309	28	1,21	-	0,720	1,429	2,136
316	12	0,6	3	0,750	1,536	1,990
317	20	0,6	3	0,754	1,387	2,107
318	24	0,6	3	0,739	1,436	2,091
319	28	0,6	3	0,726	1,396	2,140
320	12	1,21	3	0,784	1,569	2,116
321	20	1,21	3	0,816	1,422	2,189
322	24	1,21	3	0,761	1,539	2,134
323	28	1,21	3	0,828	1,540	2,255



Rys.3.25. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów dla wszystkich wariantów materiałowych w zależności od zastosowanego ciąkadła, uwzględniając minimalną oraz maksymalną wartość a także wyznaczoną wartością średnią.

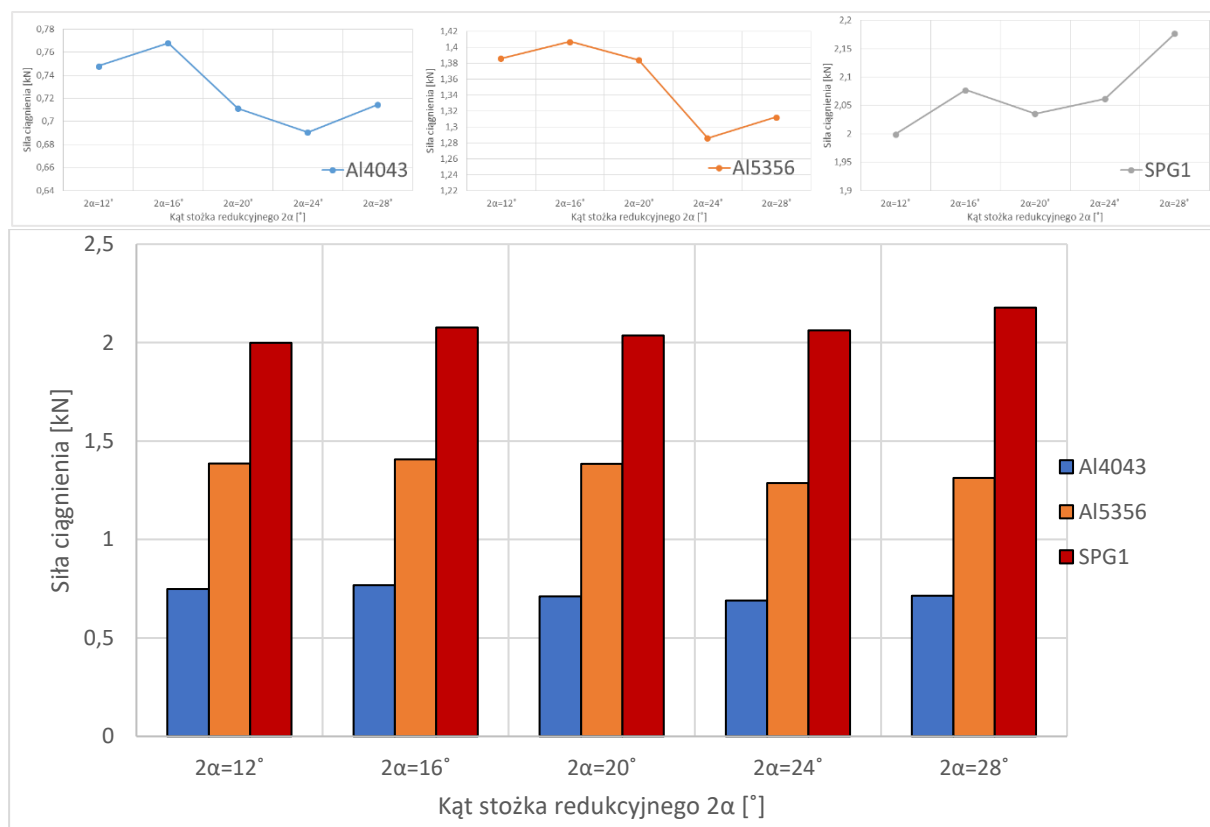
Na podstawie wyników uzyskanych podczas badania wpływu geometrii ciąkadła na zróżnicowanie parametrów siłowych procesu ciągnięcia drutów spawalniczych wytworzonych w różnych warunkach procesu ciągnięcia przeprowadzonych na trzech różnych materiałach: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2, najniższymi parametrami siłowymi podczas procesu ciągnięcia charakteryzują się uzyskane druty aluminiowe gatunku EN-AW 4043. Najwyższe parametry siłowe podczas procesu ciągnięcia zostały zarejestrowane dla drutów stalowych gatunku SG2. Siły ciągnięcia dla poszczególnych materiałów kształtowały się w granicach: dla EN-AW 4043 od 0,691 (zastosowane ciąkadło nr 304) do 0,828 kN (zastosowane ciąkadło nr 323), dla EN-AW 5356 od 1,266 (zastosowane ciąkadło nr 178) do 1,640 kN (zastosowane ciąkadło nr 306) i dla SG2 od 1,967 (zastosowane ciąkadło nr 172) do 2,255 kN (zastosowane ciąkadło nr 323)

Szczegółowa analiza wykazuje, że najwyższe siły ciągnięcia dla wszystkich przypadków materiałowych zarejestrowano przy zastosowaniu ciąkadła nr 323 charakteryzującego się nominalną długości paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalną zbieżności kalibrującą $2\beta=3^\circ$ i kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego 28° . Natomiast najniższe siły ciągnięcia dla wszystkich przypadków materiałowych można przypisać dla zastosowaniu ciąkadła nr 304 charakteryzującego się długością paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco 24°

Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2, uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α wynoszącą następująco: 12;16;20;24;28°

Tablica 3.26. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN AW - 5356; SG2.

Nr ciagadla	Wartość nominalna			EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β			
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
302	12	0,6	-	0,748	1,386	1,999
177	16	0,6	-	0,768	1,407	2,077
303	20	0,6	-	0,711	1,384	2,036
304	24	0,6	-	0,691	1,286	2,062
305	28	0,6	-	0,715	1,312	2,177

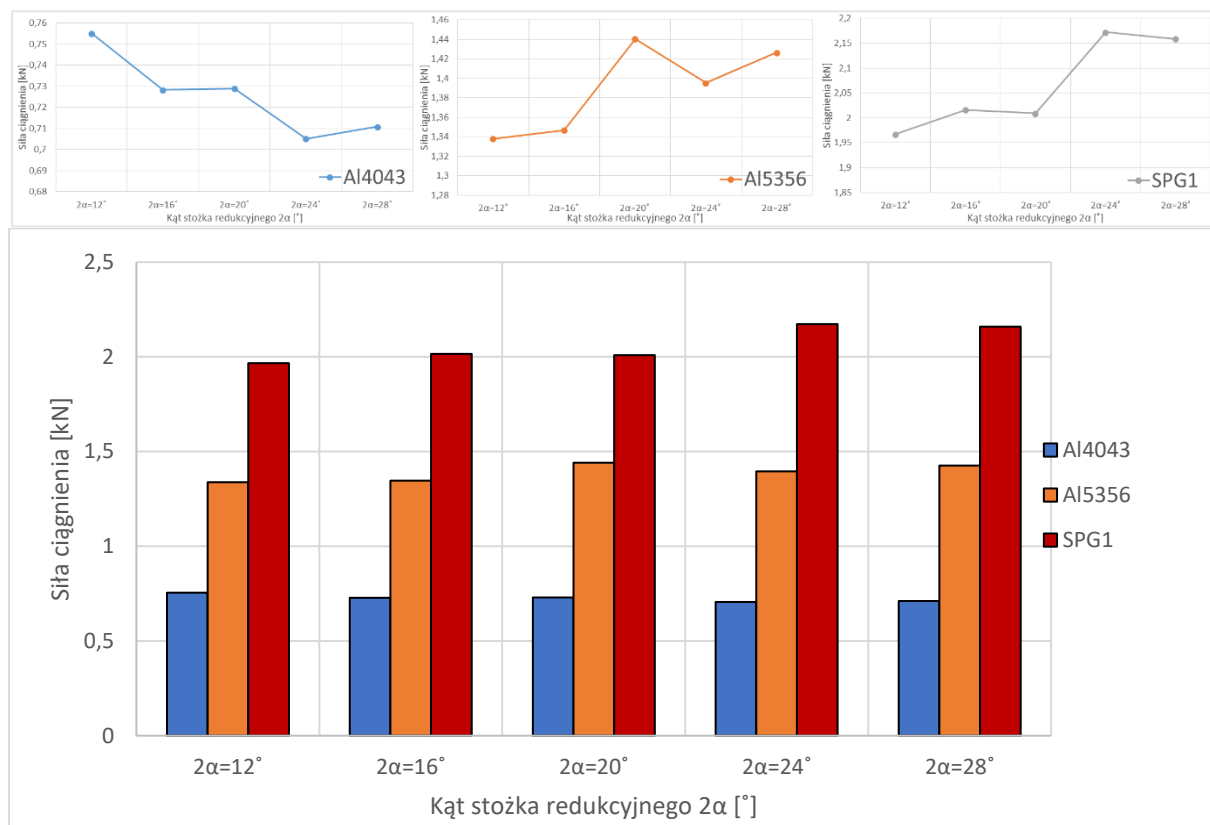


Rys.3.26. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm

Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2, uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco: 12;16;20;24;28°

Tablica 3.27. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
172	12	0,9	-	0,755	1,338	1,967
173	16	0,9	-	0,728	1,347	2,016
174	20	0,9	-	0,729	1,441	2,009
175	24	0,9	-	0,705	1,395	2,172
176	28	0,9	-	0,711	1,427	2,159

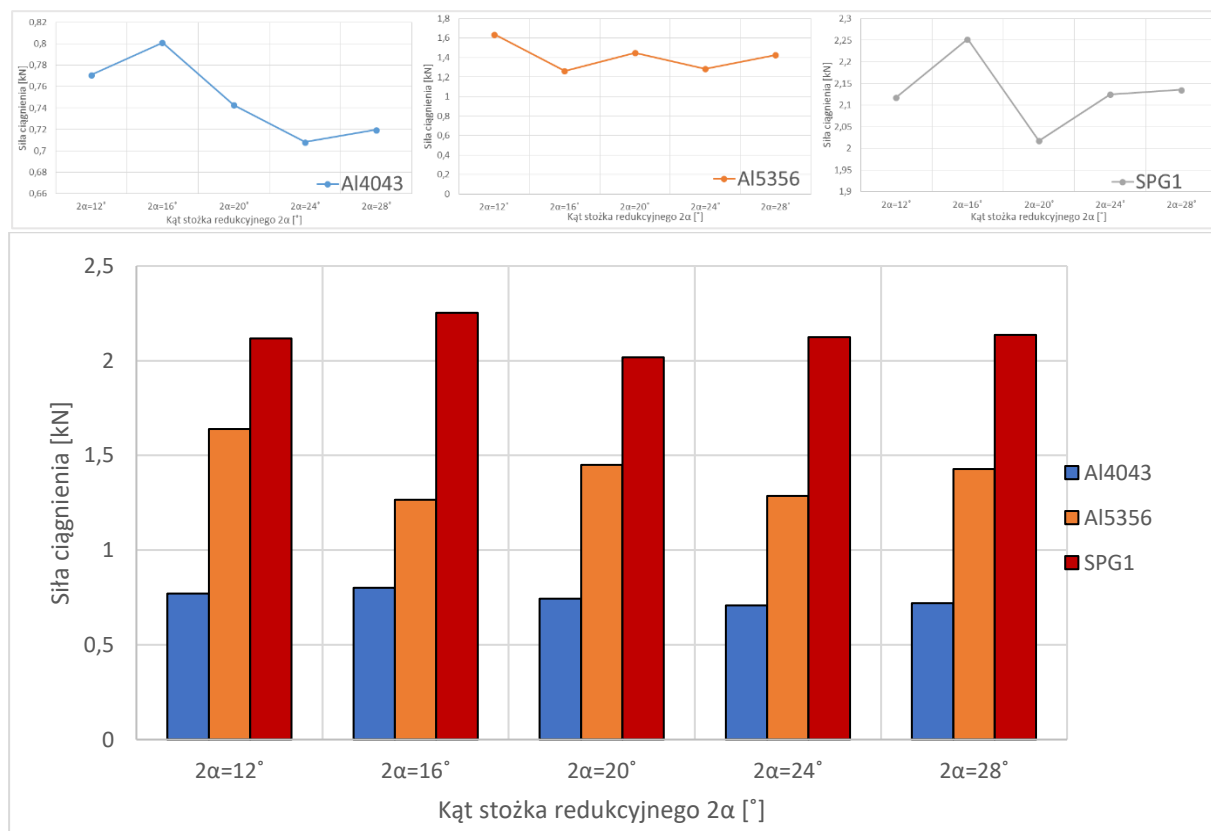


Rys.3.27. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,9mm

Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2 mm i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco: 12;16;20;24;28°

Tablica 3.28. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
306	12	1,21	-	0,771	1,640	2,118
178	16	1,2	-	0,801	1,266	2,253
307	20	1,21	-	0,743	1,451	2,018
308	24	1,21	-	0,708	1,286	2,125
309	28	1,21	-	0,720	1,429	2,136

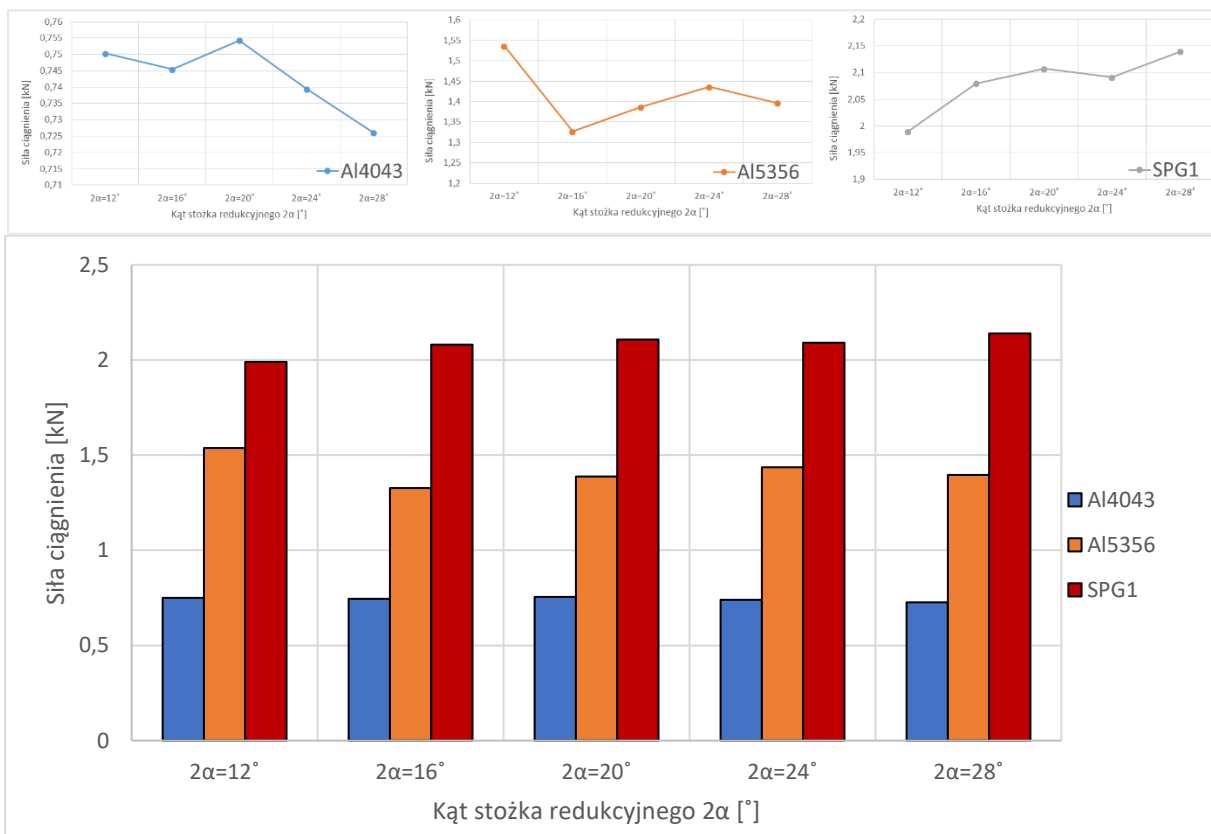


Rys.3.28. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm

Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco: 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.29. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	Kąt stożka redukcyjnego o 2α	Długość części kalibrującej	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
316	12	0,6	3	0,750	1,536	1,990
179	16	0,6	3	0,745	1,327	2,080
317	20	0,6	3	0,754	1,387	2,107
318	24	0,6	3	0,739	1,436	2,091
319	28	0,6	3	0,726	1,396	2,140

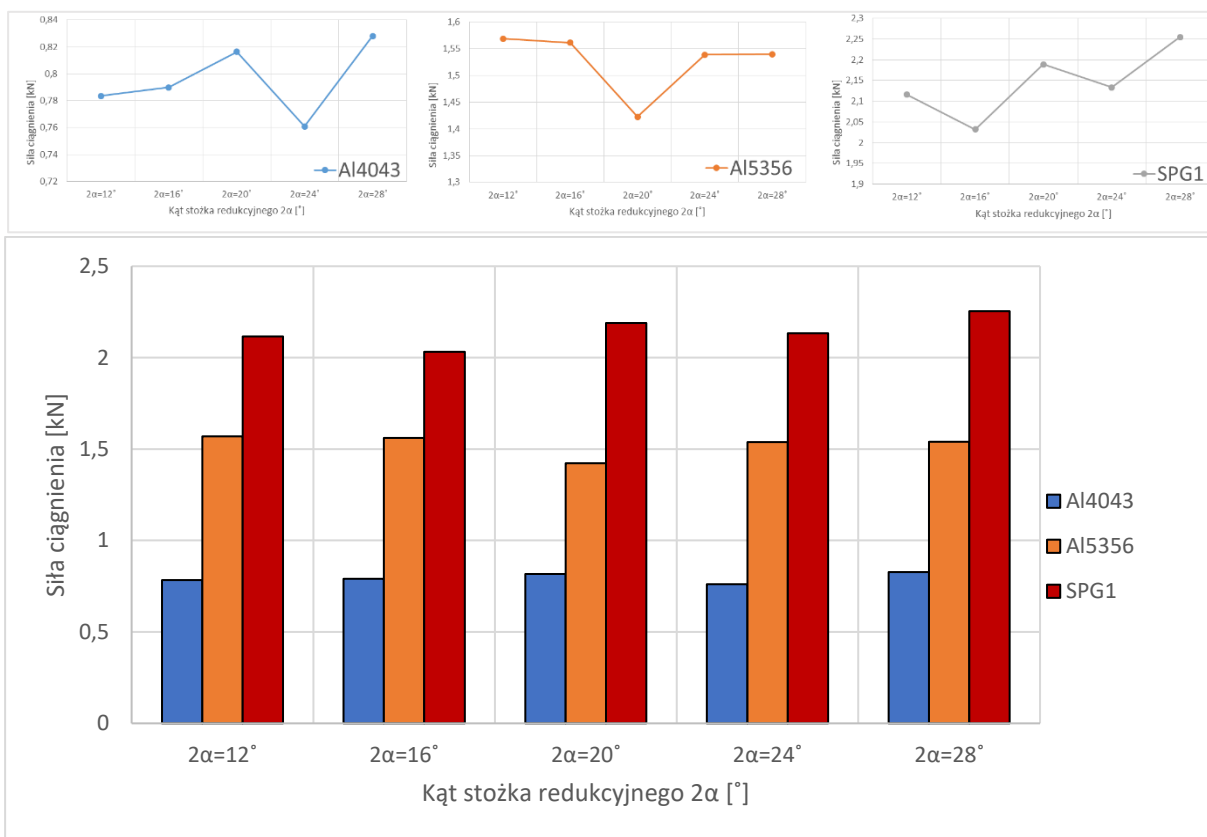


Rys.3.29. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 0,6mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i zmiennym kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco: 12;16;20;24;28°.

Tablica 3.30. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
320	12	1,21	3	0,784	1,569	2,116
181	16	1,2	3	0,790	1,562	2,032
321	20	1,21	3	0,816	1,422	2,189
322	24	1,21	3	0,761	1,539	2,134
323	28	1,21	3	0,828	1,540	2,255

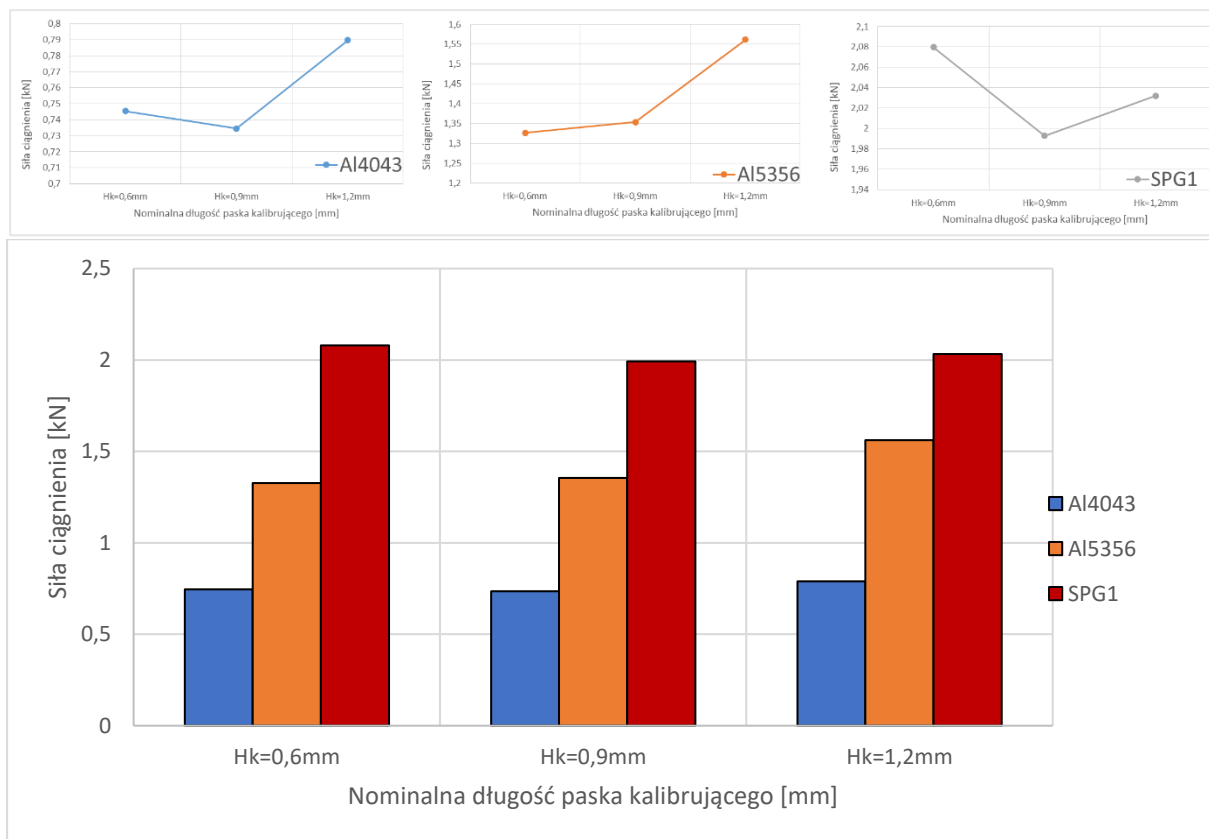


Rys.3.30. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany kąta stożka redukcyjnego 2α : 12;16;20;24;28°, dla nominalnej długości paska kalibrującego równego 1,2mm i nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$

Zestawienie sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i o zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2

Tablica 3.31. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
179	16	0,6	3	0,745	1,327	2,080
180	16	0,9	3	0,735	1,354	1,993
181	16	1,2	3	0,790	1,562	2,032

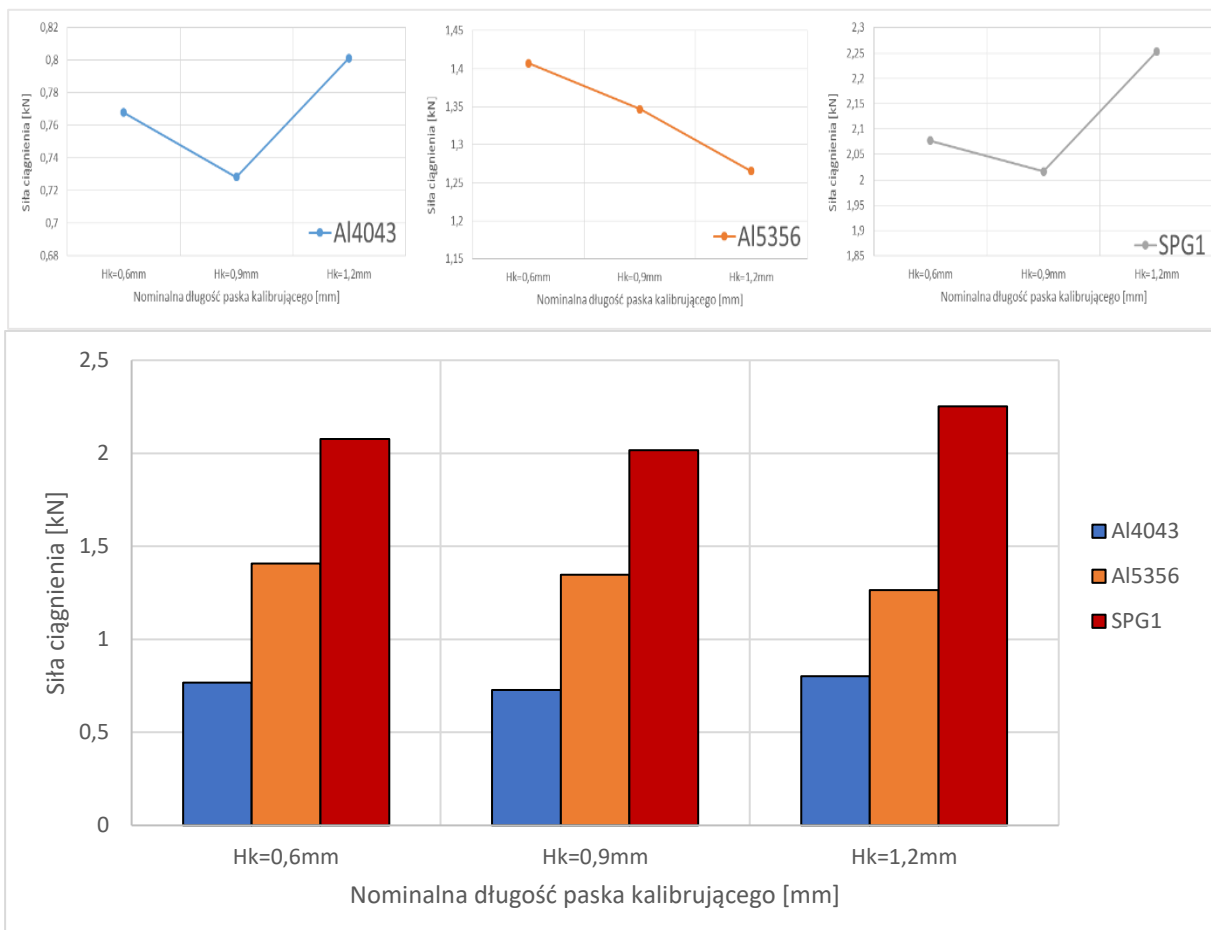


Rys.3.31. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałej nominalnej zbieżności kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$

Zestawienie sił ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 uzyskanych w ramach zastosowania ciągadeł o nominalnym kącie stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β i zmiennej nominalnej długości paska kalibrującego Hk równego; 0,6; 0,9 i 1,2.

Tablica 3.32. Zestawienie porównawcze sił ciągnięcia uzyskanych podczas redukcji średnicy z $\varnothing 3,32\text{mm}$ na $\varnothing 3,013\text{mm}$ w procesie ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2.

Nr ciągadła	Wartość nominalna			Siła ciągnięcia		
	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN-AW 4043	EN-AW 5356	SG2
Lp	[°]	[mm]	[°]	[kN]		
177	16	0,6	-	0,768	1,407	2,077
173	16	0,9	-	0,728	1,347	2,016
178	16	1,2	-	0,801	1,266	2,253



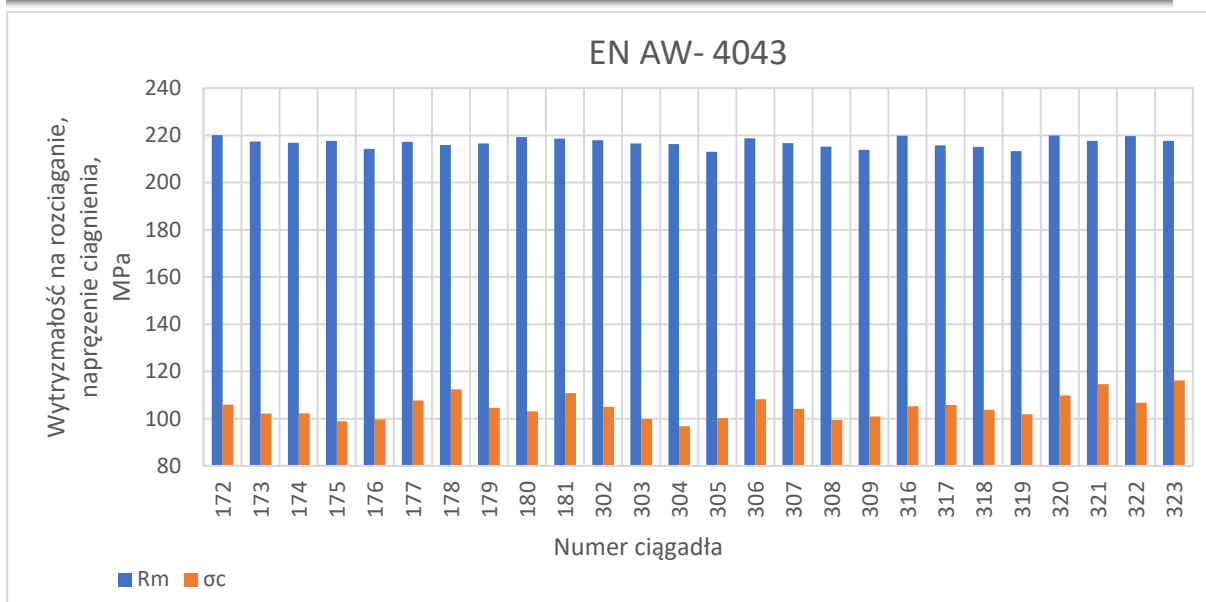
Rys.3.32. Graficzne przedstawienie wyników siły ciągnięcia drutów: EN-AW 4043; EN-AW 5356; SG2 ze względu na wpływ zmiany nominalnej długości paska kalibrującego Hk; 0,6; 0,9; 1,2mm, dla stałego nominalnego kąta stożka redukcyjnego $2\alpha=16^\circ$ i brakiem nominalnej zbieżności kalibrującej 2β

4.0 WYNIKI BADAŃ WPŁYWU GEOMETRII CIĄGADŁA NA ZRÓŻNICOWANIE WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH

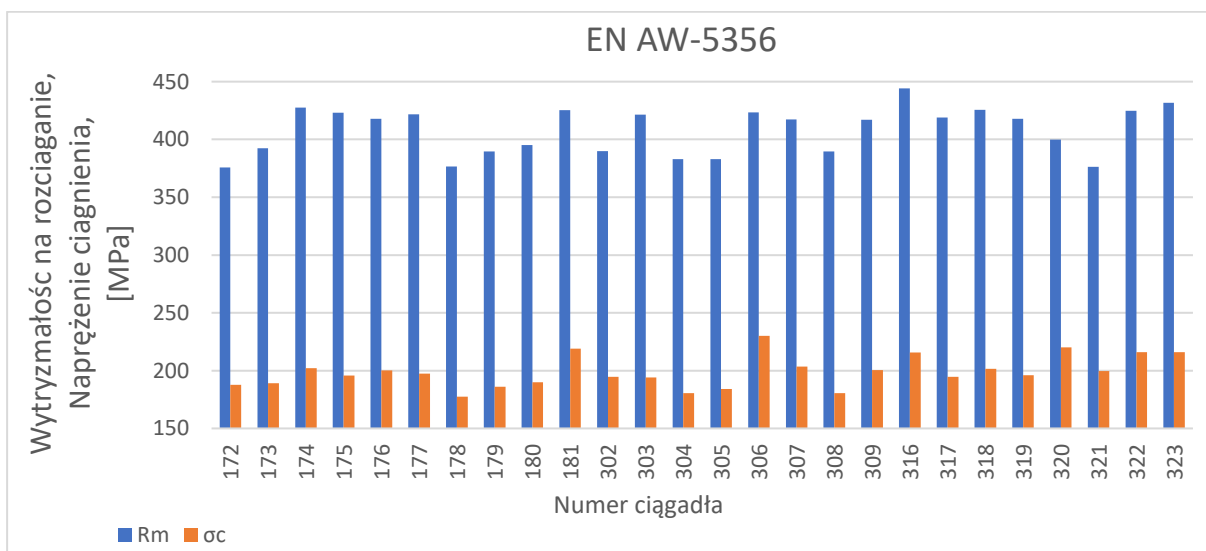
Poniżej przedstawiono wyników badań obejmujące określenie wpływu geometrii ciągadła na zróżnicowanie własności mechanicznych wyznaczonych w próbie jednoosiowego rozciągania oraz wyznaczenie naprężenie ciągnięcia i odniesienia do wytrzymałości na rozciąganie.

Tablica 4.1. Zestawienie parametrów ciągadeł stosowanych do procesu ciągnięcia dla wszystkich wariantów materiałowych wraz z wynikiem siły ciągnięcia przelicznym na naprężenie ciągnięcia zestawione wraz z wytrzymałością na rozciąganie R_m

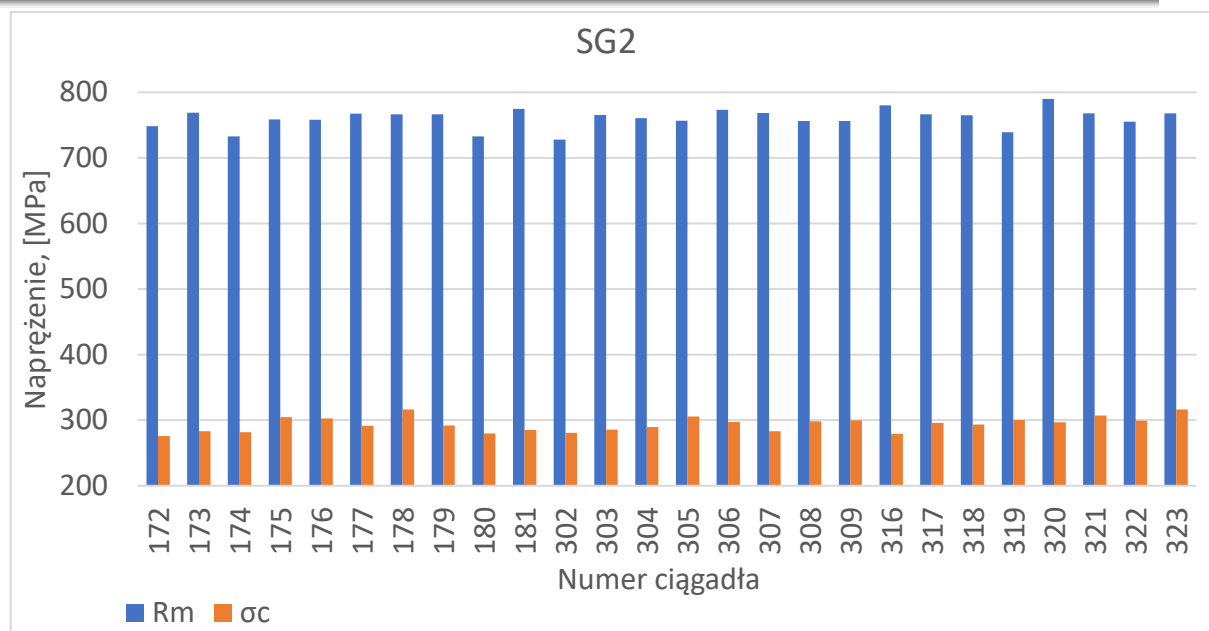
Nr ciągadła	Kąt stożka redukcyjnego 2α	Długość części kalibrującej	Kąt części kalibrującej 2β	EN AW 4043		EN-AW 5356		SG2	
				R_m	σ_c	R_m	σ_c	R_m	σ_c
[Lp]	[°]	[mm]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
172	12	0,9	-	220,2	106,0	375,8	187,8	748,2	276,0
173	16	0,9	-	217,4	102,2	392,4	189,0	769,0	282,9
174	20	0,9	-	216,9	102,3	427,7	202,2	732,8	281,9
175	24	0,9	-	217,7	99,0	423,2	195,8	758,8	304,8
176	28	0,9	-	214,3	99,8	417,9	200,2	758,1	302,9
177	16	0,6	-	217,3	107,8	421,6	197,5	767,4	291,5
178	16	1,2	-	215,9	112,4	376,5	177,6	766,6	316,1
179	16	0,6	3	216,6	104,6	389,7	186,2	766,4	291,8
180	16	0,9	3	219,3	103,1	395,1	190,0	732,7	279,7
181	16	1,2	3	218,6	110,8	425,5	219,1	774,9	285,2
302	12	0,6	-	218,0	105,0	389,8	194,5	727,9	280,6
303	20	0,6	-	216,5	99,8	421,4	194,2	765,5	285,6
304	24	0,6	-	216,3	96,9	383,0	180,5	760,4	289,3
305	28	0,6	-	213,1	100,3	383,0	184,1	756,7	305,5
306	12	1,21	-	218,7	108,2	423,4	230,1	773,2	297,2
307	20	1,21	-	216,8	104,2	417,2	203,6	768,5	283,2
308	24	1,21	-	215,2	99,4	389,6	180,4	756,1	298,2
309	28	1,21	-	213,8	101,0	416,9	200,5	756,0	299,7
316	12	0,6	3	219,8	105,3	444,2	215,6	780,1	279,2
317	20	0,6	3	215,8	105,8	419,0	194,6	766,7	295,7
318	24	0,6	3	215,1	103,8	425,7	201,5	764,8	293,5
319	28	0,6	3	213,3	101,9	418,0	195,9	739,0	300,3
320	12	1,21	3	220,0	109,9	399,8	220,2	789,7	296,9
321	20	1,21	3	217,7	114,6	376,2	199,6	767,8	307,2
322	24	1,21	3	219,7	106,8	424,7	215,9	755,2	299,4
323	28	1,21	3	217,6	116,2	431,7	216,1	768,2	316,4



Rys.4.1. Graficzne zestawienie wyników naprężenia ciągnięcia wraz z wytrzymałością na rozciąganie drutów aluminiowych gatunku EN-AW 4043 w zależności od zastosowanego ciągadła,



Rys.4.2. Graficzne zestawienie wyników naprężenia ciągnięcia wraz z wytrzymałością na rozciąganie drutów aluminiowych gatunku EN-AW 5356 w zależności od zastosowanego ciągadła,



Rys.4.3. Graficzne zestawienie wyników naprężenia ciągnięcia wraz z wytrzymałością na rozciągania drutów stalowych SG2 w zależności od zastosowanego ciągadła,

Naprężenia ciągnięcia dla poszczególnych materiałów kształtowały się w granicach:

- dla EN-AW 4043 od 96,9 N (zastosowane ciągadło nr 304) do 116,2N (zastosowane ciągadło nr 323)
- dla EN-AW 5356 od 177,5N (zastosowane ciągadło nr 178) do 230,1N (zastosowane ciągadło nr 306)
- dla SG2 od 276N (zastosowane ciągadło nr 172) do 316,4N (zastosowane ciągadło nr 323)

Ponadto stwierdzono, że najwyższe naprężenie ciągnięcia dla wszystkich przypadków materiałowych zarejestrowano przy zastosowaniu ciągadła nr 323 charakteryzującego się nominalną długością paska kalibrującego równego 1,2mm, nominalną zbieżności kalibrującą $2\beta=3^\circ$ i kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego 28° . Natomiast najniższe naprężenie ciągnięcia dla wszystkich przypadków materiałowych można przypisać zastosowaniu ciągadła nr 304 charakteryzującego się długością paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco 24°

Wytrzymałość na rozciąganie dla poszczególnych materiałów kształtowały się w granicach:

- dla EN AW-4043 od 213MPa (zastosowane ciągadło nr 305) do 220,2MPa (zastosowane ciągadło nr 172)
- dla EN AW-5356 od 375 MPa (zastosowane ciągadło nr 172) do 444,2MPa (zastosowane ciągadło nr 316)
- dla SG2 od 723 MPa (zastosowane ciągadło nr 302) do 789,7MPa (zastosowane ciągadło nr 320)

Analiza kolorystyczna zastosowana dla wyników zawartych w tablicy nr36 wykazuje ze najwyższą wytrzymałość na rozciąganie dla wszystkich przypadków materiałowych można przypisać zastosowaniu ciągadła nr 316 charakteryzującego się nominalną długością paska kalibrującego równego 0,6mm, nominalną zbieżnością kalibrującej $2\beta=3^\circ$ i kącie stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco: 12° . Natomiast najniższą wytrzymałość dla wszystkich przypadków materiałowych można przypisać zastosowaniu ciągadła nr 304 charakteryzującego się długością paska kalibrującego równego 0,6mm i zmiennym kątem stożka redukcyjnego 2α wynoszącego następująco 24° .

4.1.2. Podsumowanie

Analiza wyników badań parametrów siłowych, właściwości mechanicznych wytworzonych drutów wykazała, że :

- a) w przypadku drutów na bazie stali korzystne parametry geometryczne oczka ciągadła to: kat otwarcia stożka roboczego: $4-6^\circ$, długość części kalibrującej 30%, kształt części kalibrującej - cylindryczny
- b) w przypadku drutów na bazie aluminium korzystane parametry geometryczne oczka ciągadła to: kat otwarcia stożka roboczego: $16-20^\circ$, długość części kalibrującej 30%, kształt części kalibrującej - cylindryczny
- c) w obu przypadkach tj. drutów stalowych i aluminiowych postuluje się w przypadku ciągadła finalnego zastosowanie części kalibrującej o kształcie stożka o kącie zbieżności ok. 3°