



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

Nośność pokrytyczna szkła laminowanego mocowanego punktowo z lokalnym wzmocnieniem siatką stalową

dr hab. inż. Marcin Kozłowski, prof. PŚ
mgr inż. Dominik Wasik

Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Inżynierii Budowlanej
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice

WORLD GLASS CONGRESS:
KONSTRUKCJE PRZESZKLONE – NOWE WYZWANIA,
TECHNOLOGIE I BADANIA
23 listopad 2022, Warszawa

Szkło konstrukcyjne

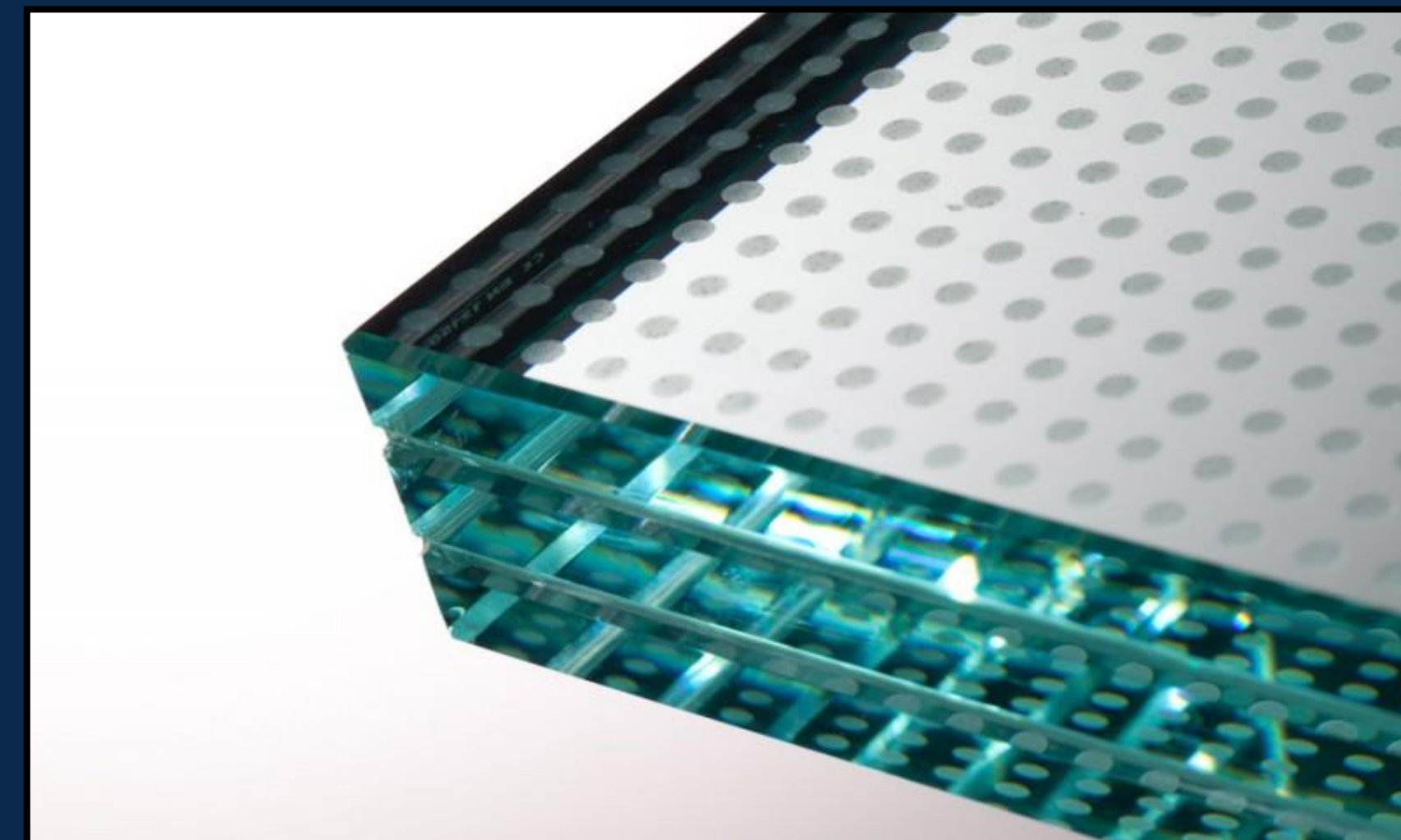
2



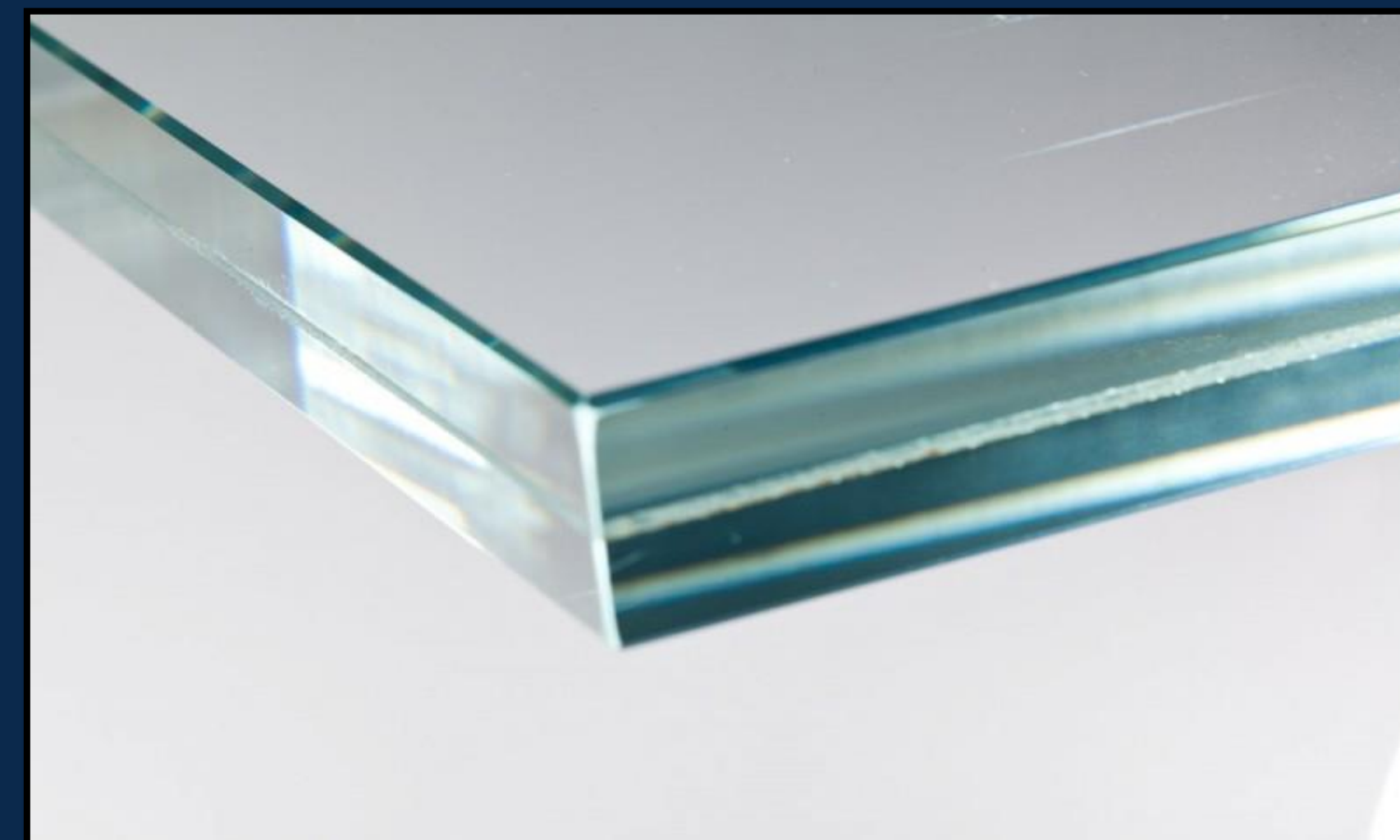
[1]



[2]



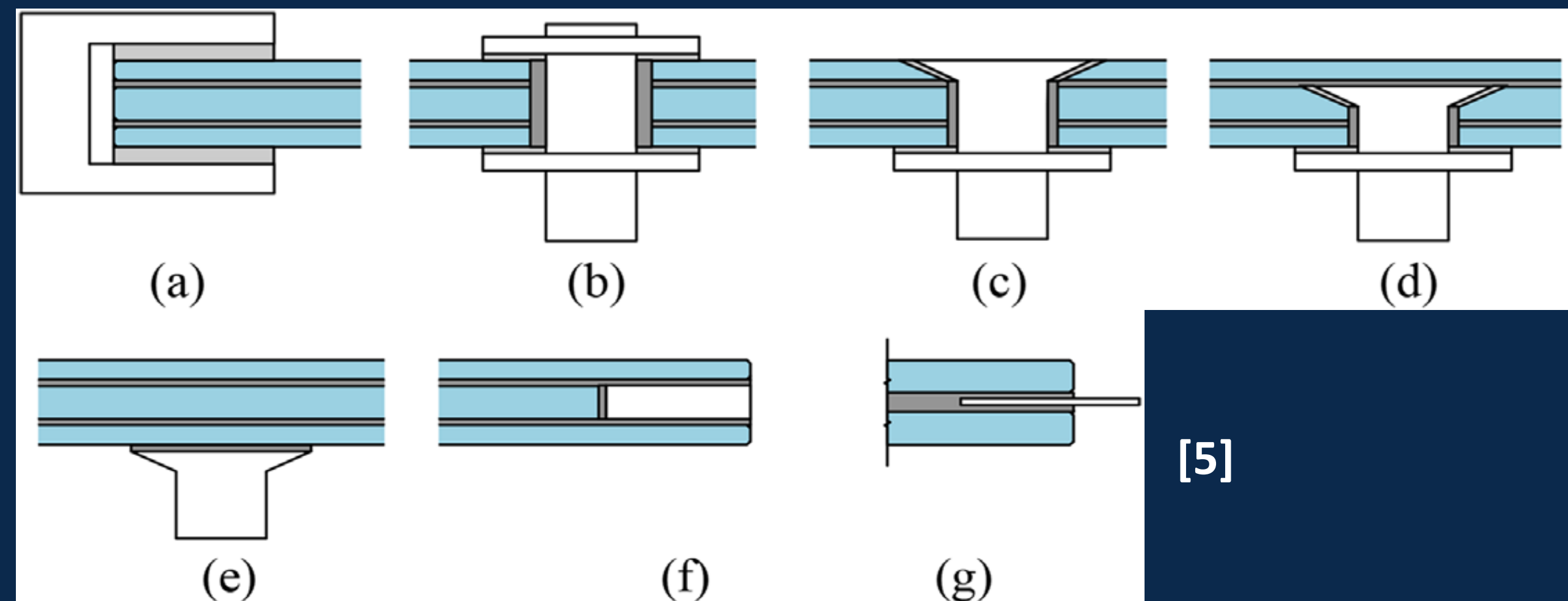
[3]



[4]

Łączniki punktowe

Łączniki punktowe mają bardzo szerokie zastosowanie w budownictwie; mocują szkło w różnego rodzaju elementach konstrukcyjnych – przekryciach, fasadach, ścianach osłonowych, zadaszeniach nad wejściami do budynku, a także znajdują swoje zastosowanie elementach architektonicznych np. balustradach i ścianach działowych.



3



[6]

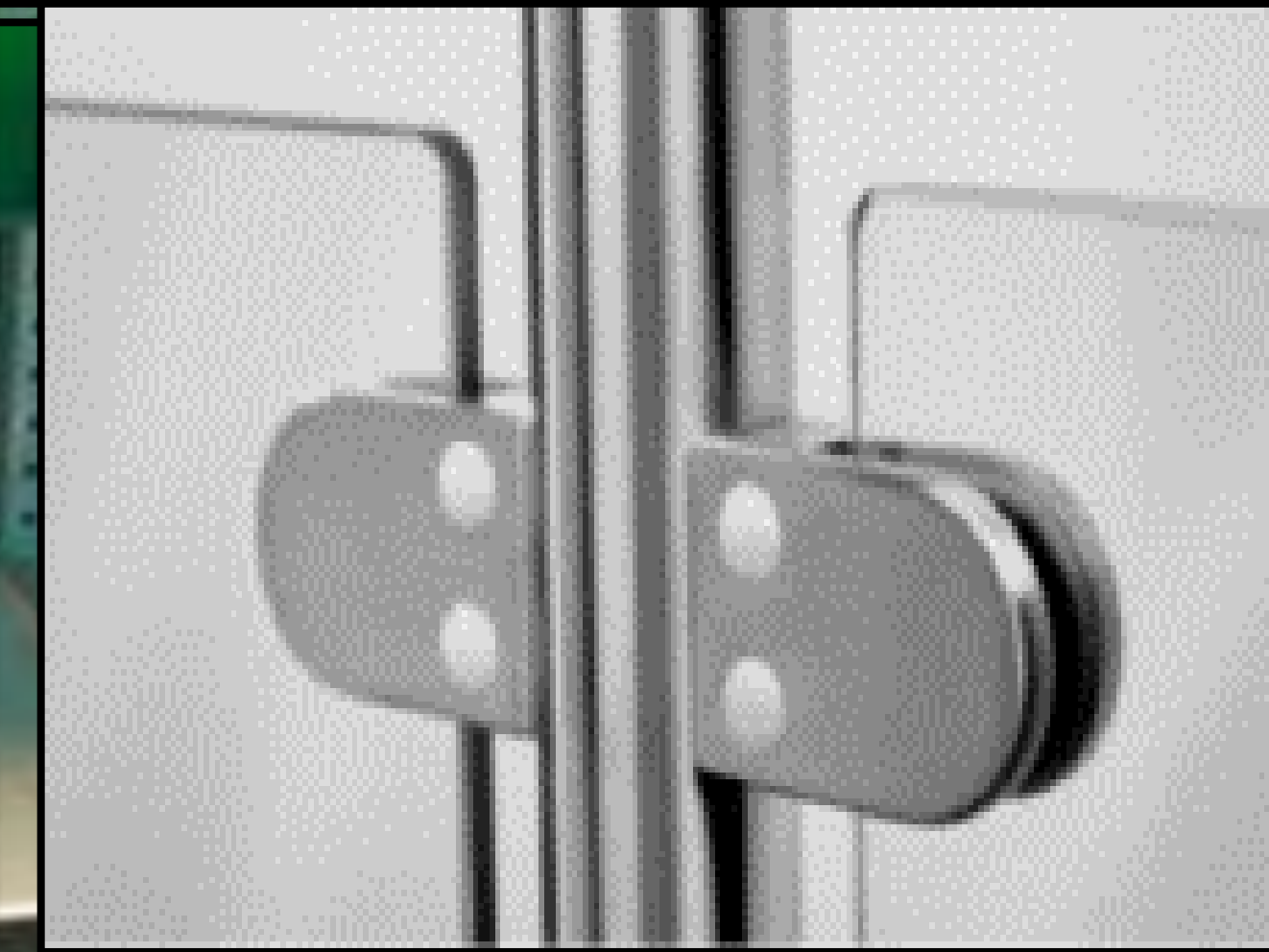
Problematyka mocowań punktowych

W okolicy otworów w szkłe (wykonanych na łączniki punktowe) występują lokalne koncentracje naprężeń, które obniżają nośność szklanych elementów, przez co strefy te wymagają dogłębnej analizy eksperymentalno-numerycznej. Jak pokazują badania laboratoryjne, w elementach pracujących w stanie zarysowanym, a następnie obciążonych po pewnym czasie dochodzi do zerwania się z podpór.

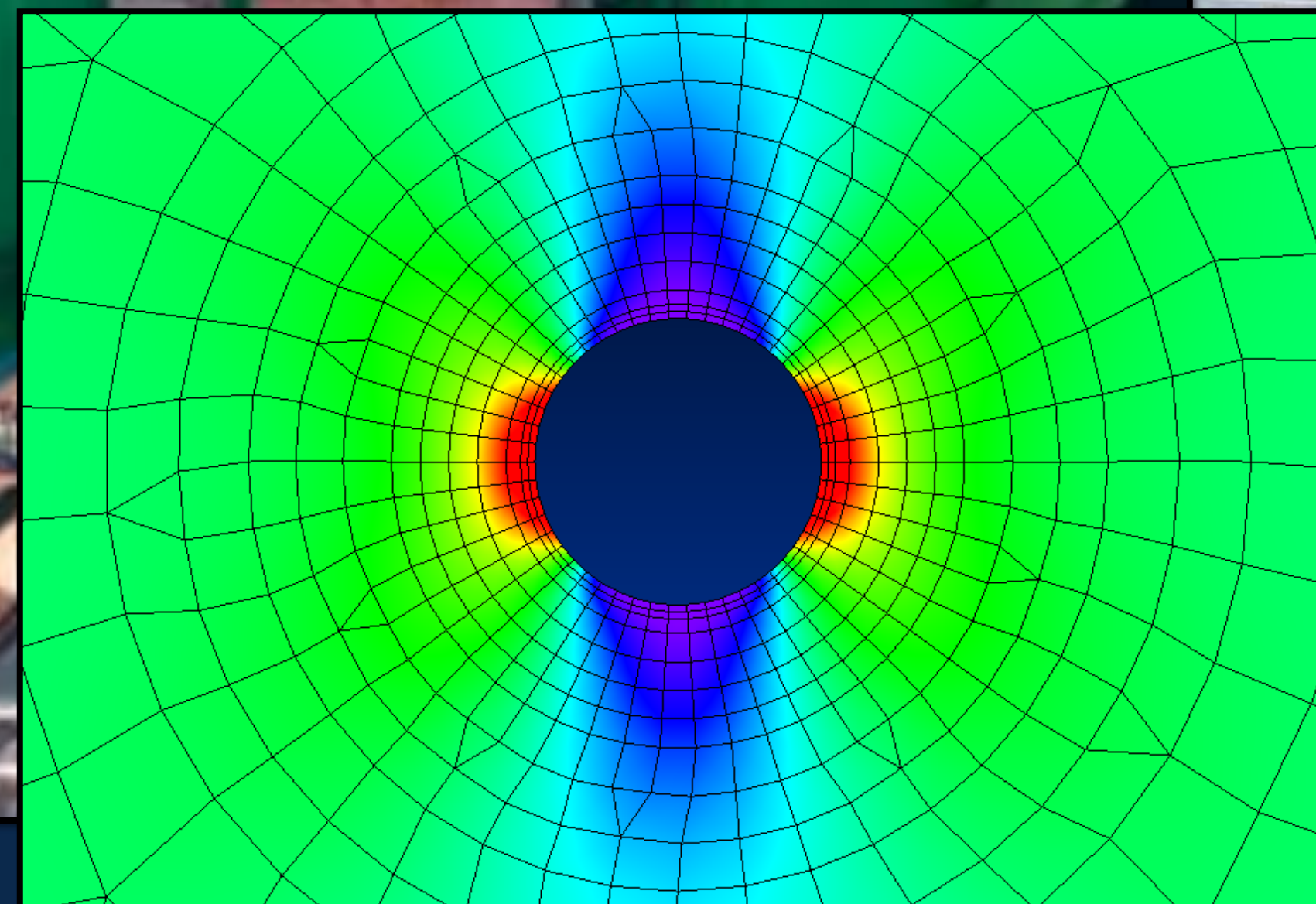
4



[7]



[8]



[9]

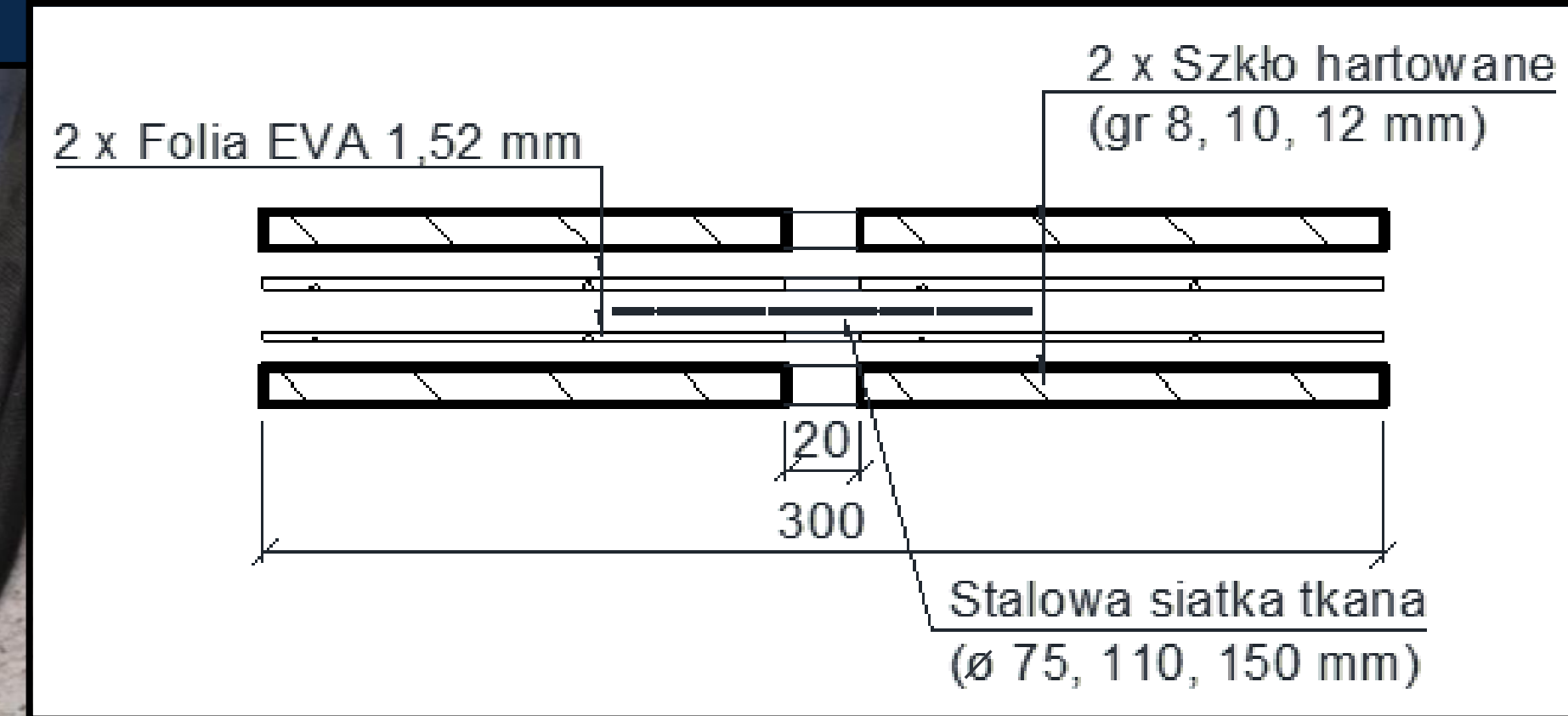
Idea wzmocnienia strefy wokół otworów*

Badania przeciskania łącznika punktowego

5



Próbka wzmocniona (R75)



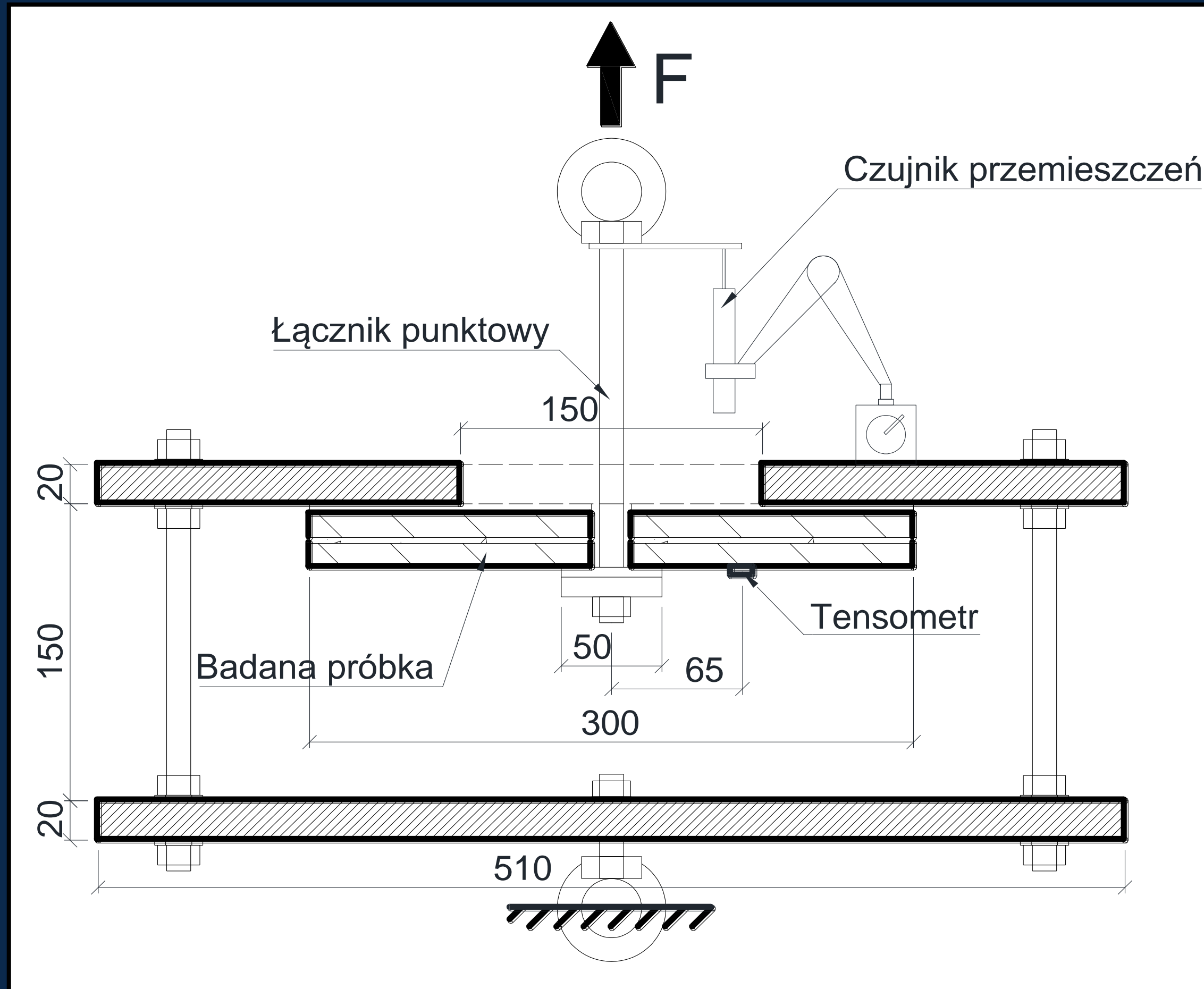
Przebadane próbki:

Gr. szkła	Wzmocnienie	Ilość powtórzeń
G8	REF	4
	R75	6
	R110	6
	R150	6
G10	REF	6
	R75	6
	R110	6
	R150	6
G12	REF	5
	R75	6
	R110	5
	R150	6

*Patent protection P.437856

Stanowisko badawcze

6



Schemat stanowiska badawczego



Stanowisko badawcze

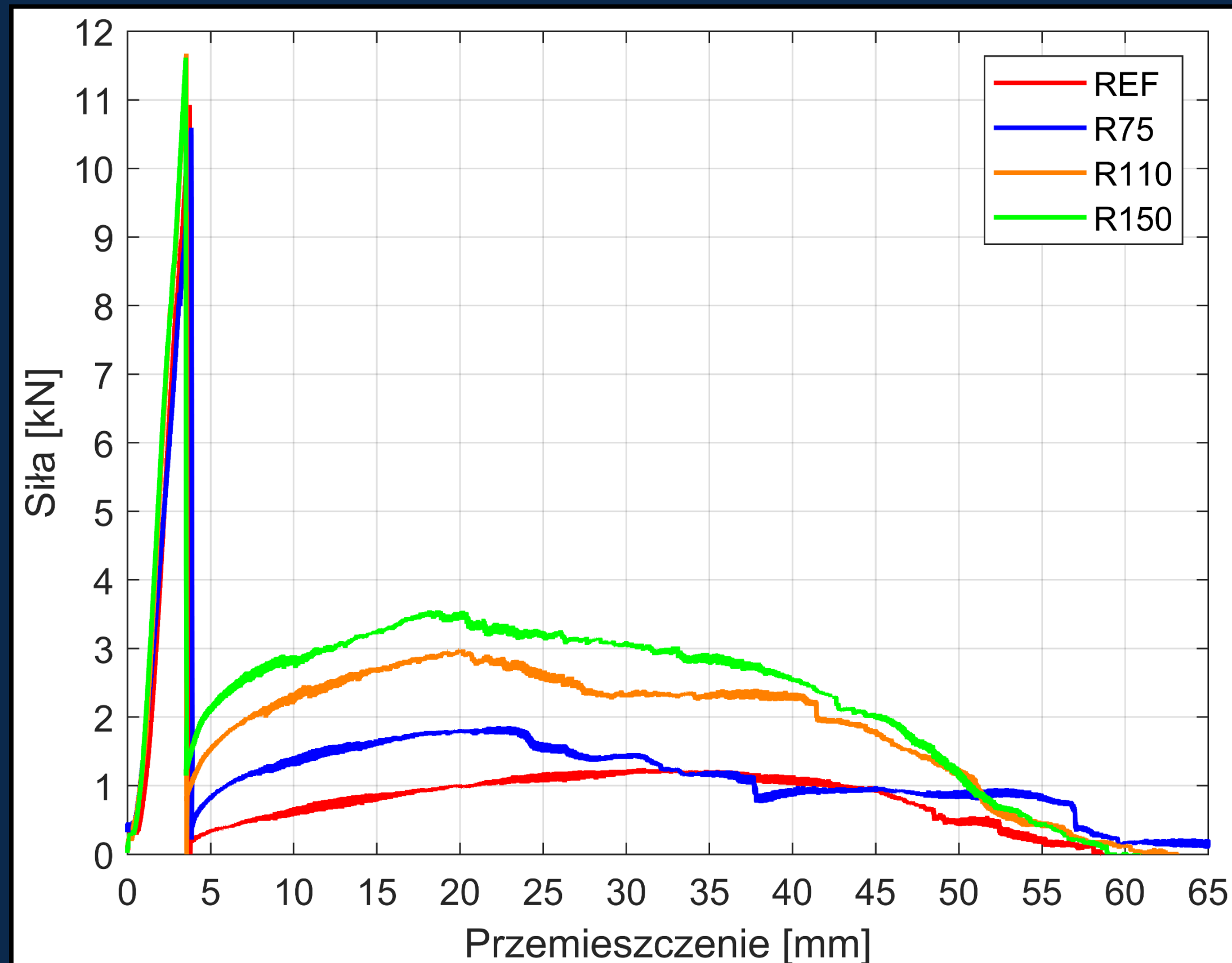
Przebieg badania

7

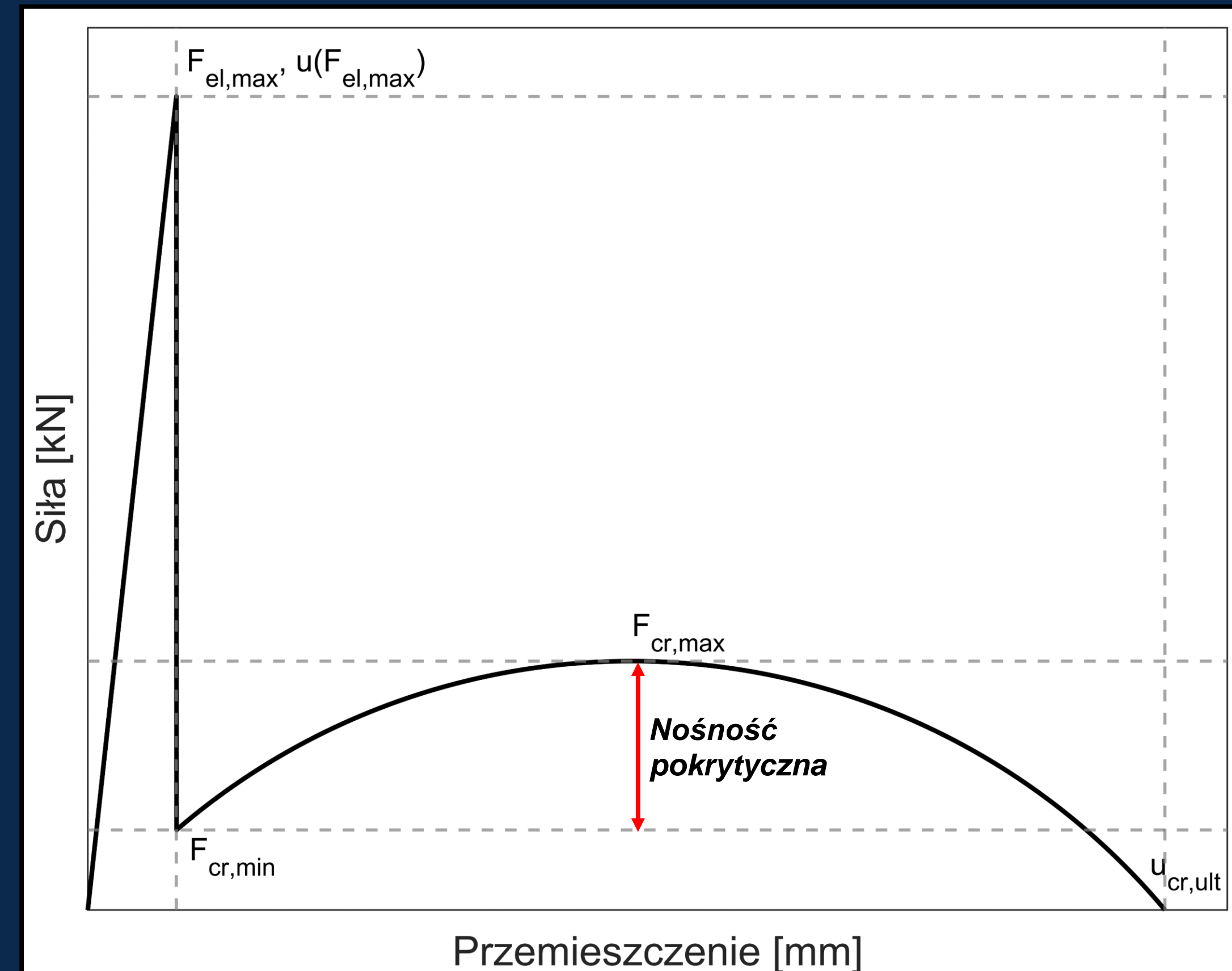


Wyniki

8



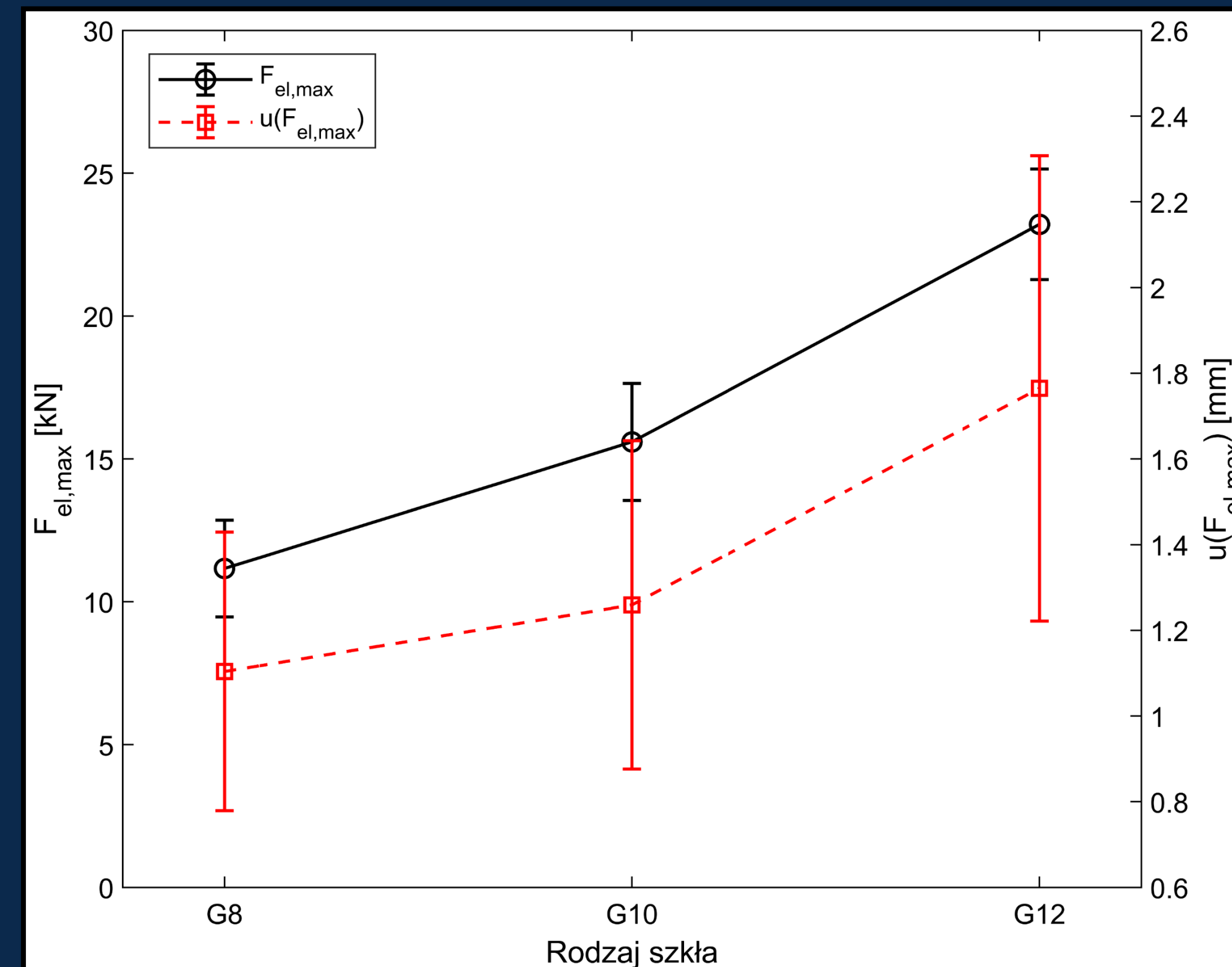
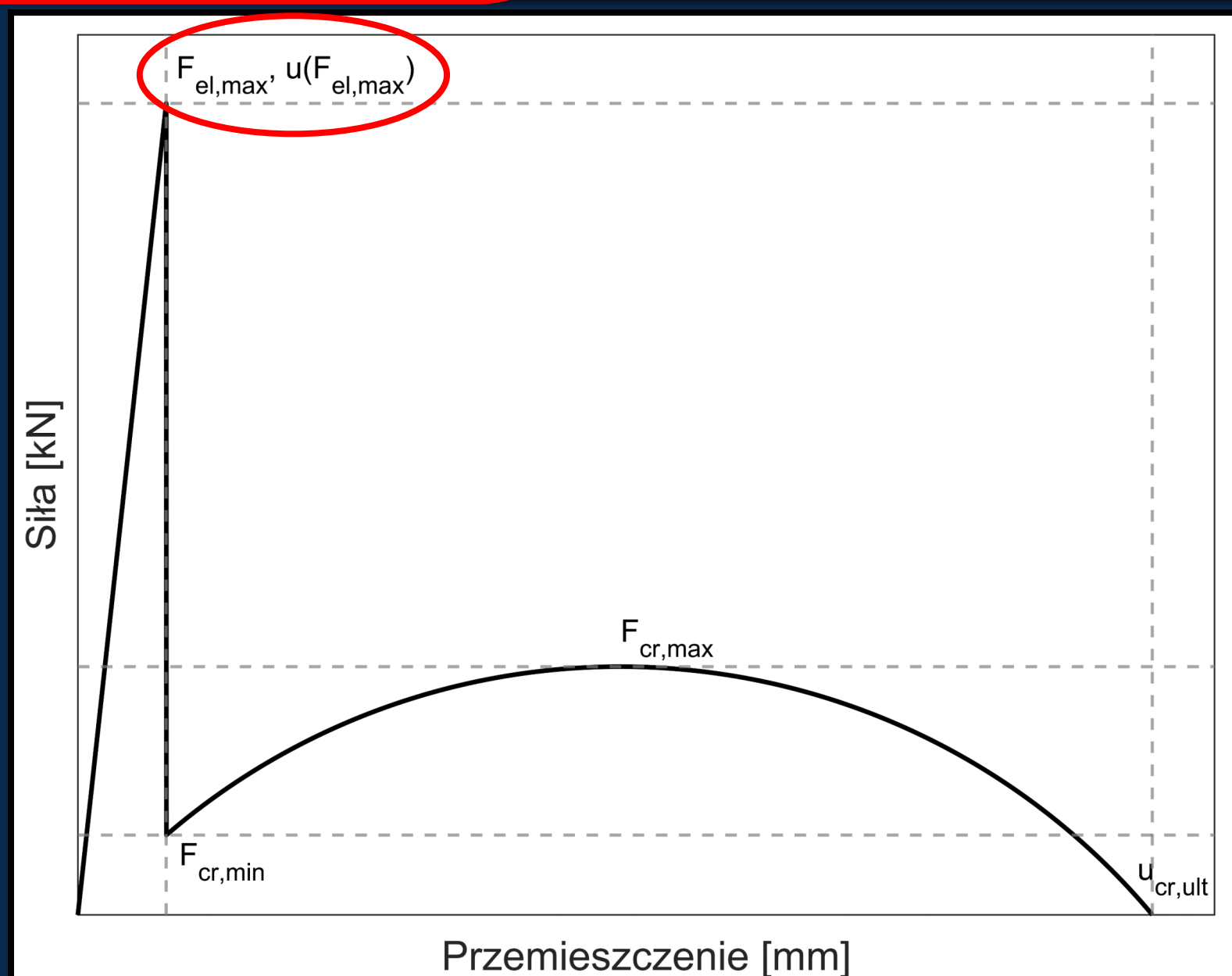
Wykres zależności siła-przemieszczenie dla wybranego przykładu próbek (G8)



Model teoretyczny przebiegu zniszczenia próbki

Wyniki

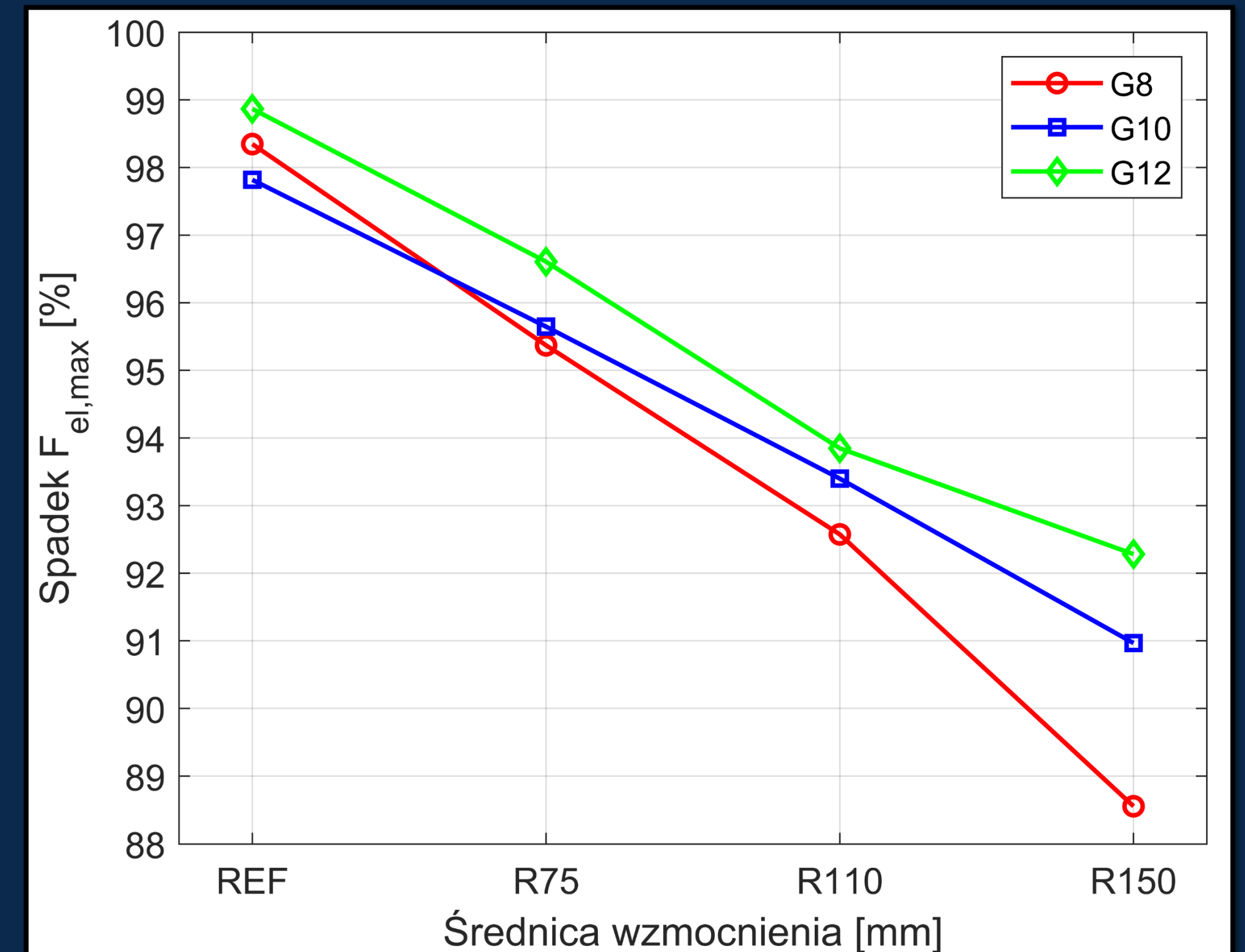
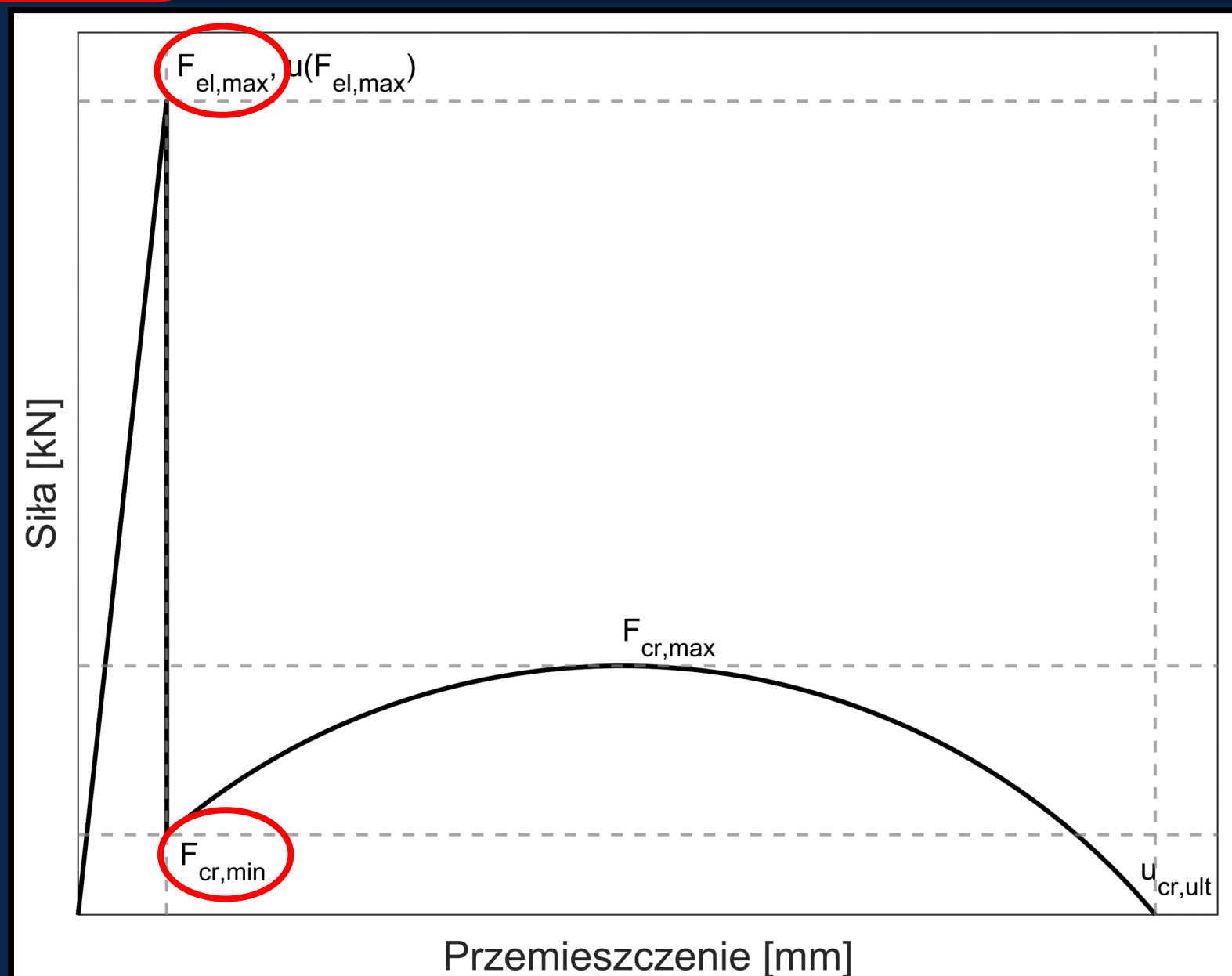
	$F_{el,max}$		$u(F_{el,max})$		$F_{cr,min}$		$F_{cr,max}$		$u_{cr,ult}$	
	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-
G8-R	11,86	1,62	1,50	0,05	0,18	0,04	1,32	0,06	63,20	3,75
G8-75	11,05	1,61	1,06	0,13	0,52	0,19	1,97	0,14	62,58	6,04
G8-110	10,51	2,10	0,79	0,26	0,83	0,09	3,03	0,06	64,19	2,00
G8-150	11,47	0,93	1,25	0,24	1,28	0,08	3,82	0,20	63,00	2,04
G10-R	17,06	1,96	1,23	0,25	0,34	0,10	1,64	0,16	64,12	2,11
G10-75	16,15	1,25	1,17	0,28	0,68	0,11	2,40	0,24	61,70	4,63
G10-110	13,72	2,19	1,22	0,37	1,03	0,19	3,20	0,36	65,76	2,45
G10-150	15,13	1,04	1,42	0,53	1,41	0,08	4,28	0,40	61,60	1,47
G12-R	22,22	1,85	2,06	0,72	0,26	0,06	1,64	0,14	65,72	3,45
G12-75	22,97	1,65	1,67	0,27	0,79	0,07	2,34	0,25	58,91	9,55
G12-110	23,11	1,24	1,82	0,34	1,43	0,14	3,79	0,32	74,99	5,17
G12-150	24,37	2,16	1,54	0,52	1,79	0,19	5,01	0,24	65,21	1,51



9

Wyniki

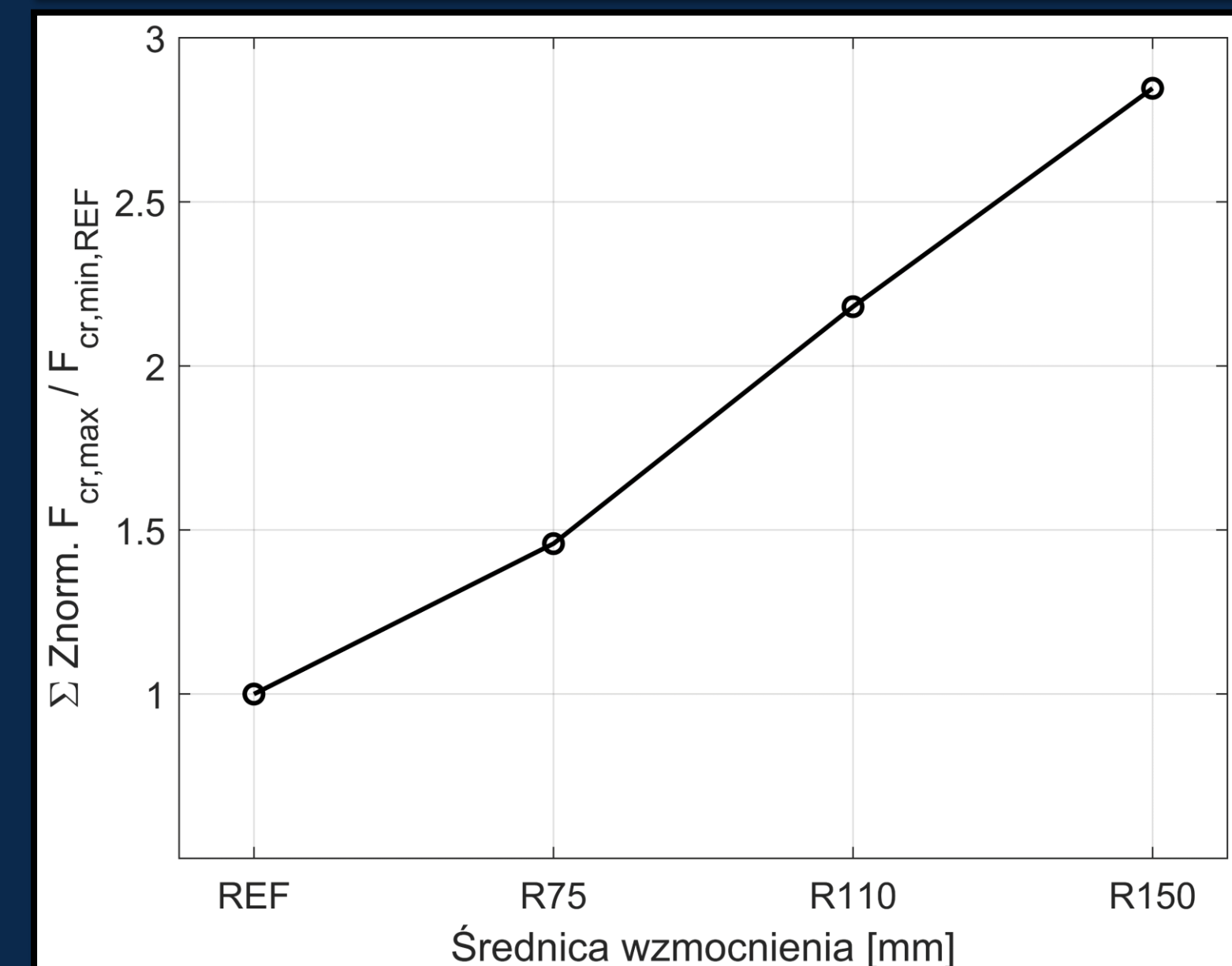
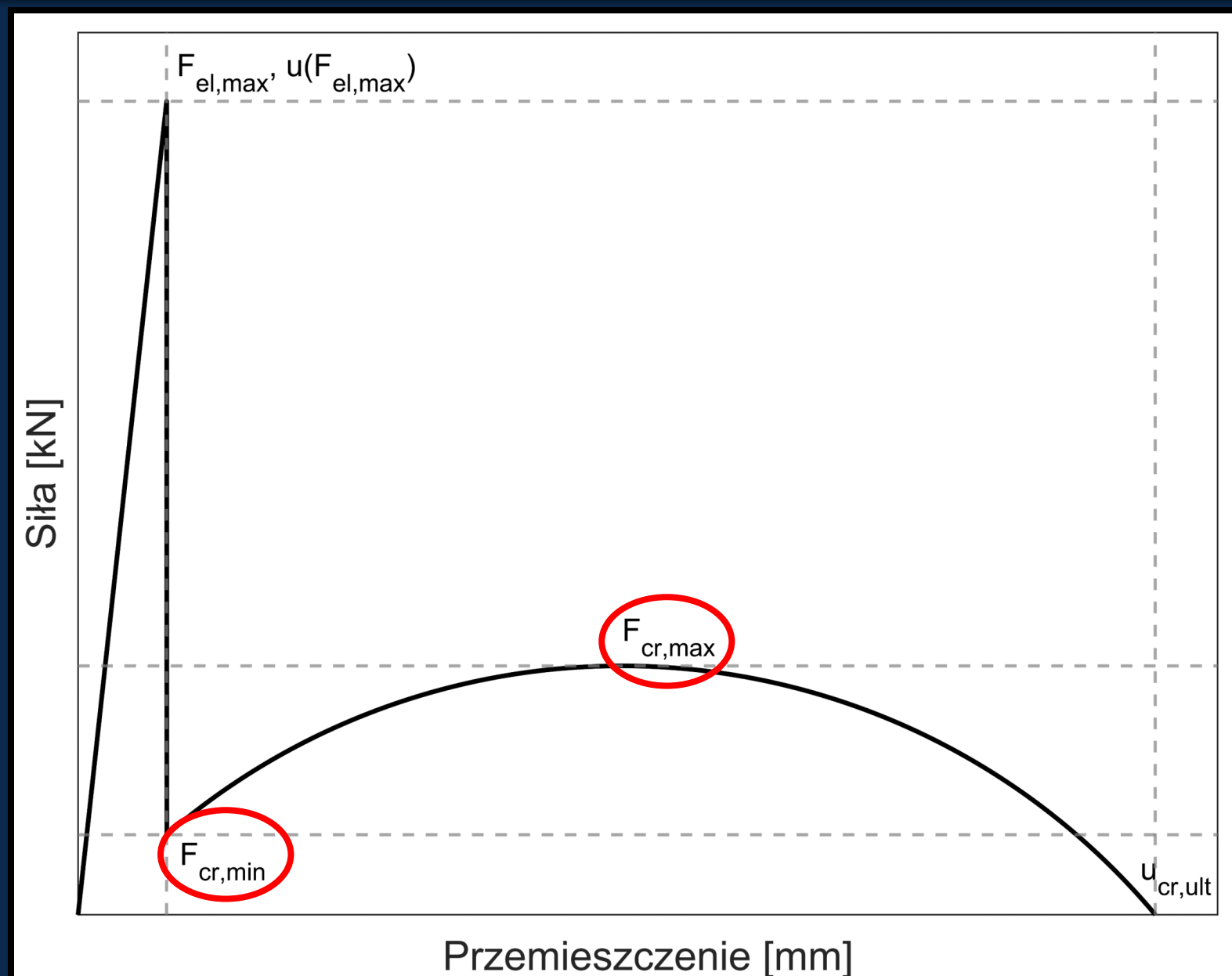
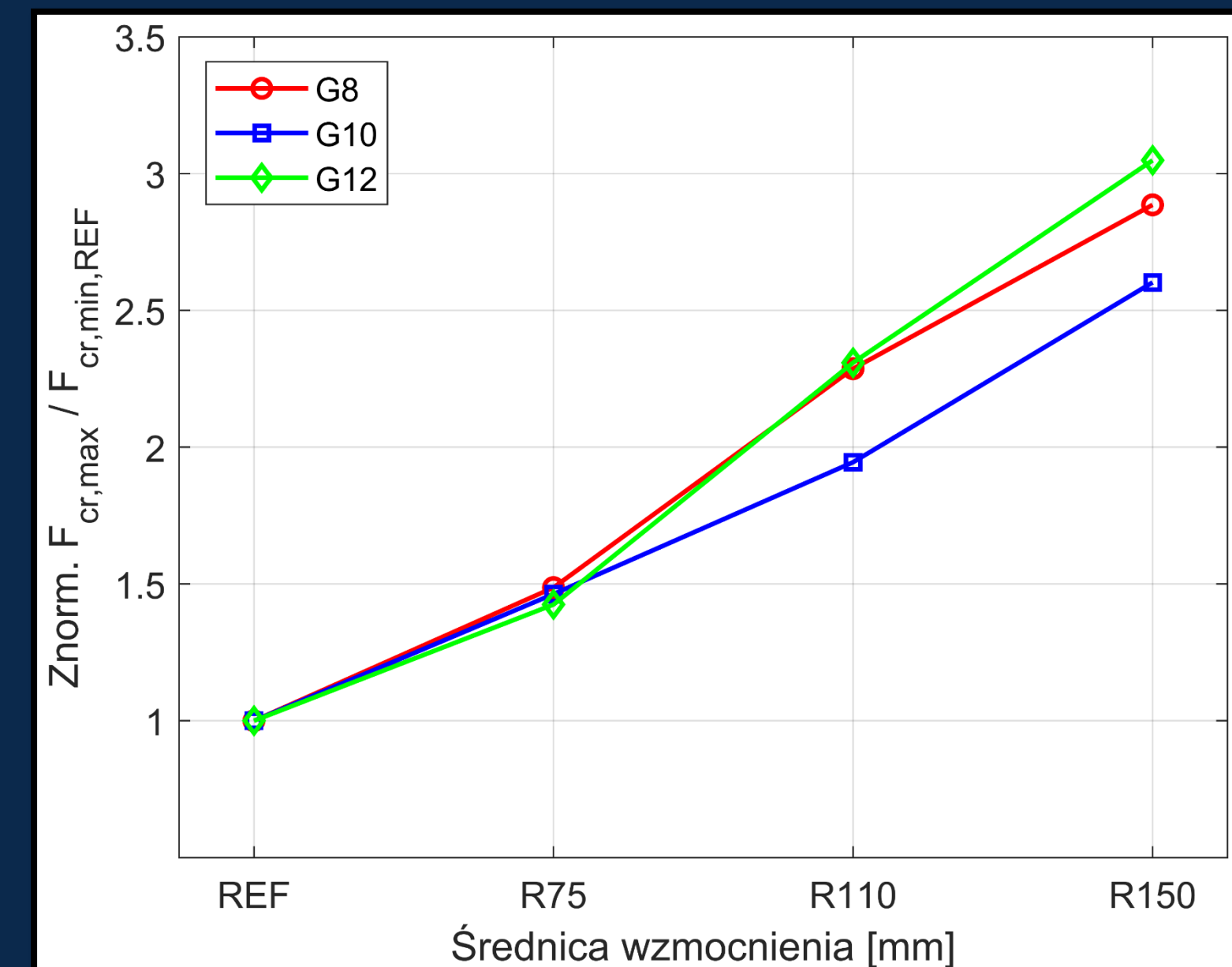
	$F_{el,max}$		$u(F_{el,max})$		$F_{cr,min}$		$F_{cr,max}$		$u_{cr,ult}$	
	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-
G8-R	11,86	1,62	1,50	0,05	0,18	0,04	1,32	0,06	63,20	3,75
G8-75	11,05	1,61	1,06	0,13	0,52	0,19	1,97	0,14	62,58	6,04
G8-110	10,51	2,10	0,79	0,26	0,83	0,09	3,03	0,06	64,19	2,00
G8-150	11,47	0,93	1,25	0,24	1,28	0,08	3,82	0,20	63,00	2,04
G10-R	17,06	1,96	1,23	0,25	0,34	0,10	1,64	0,16	64,12	2,11
G10-75	16,15	1,25	1,17	0,28	0,68	0,11	2,40	0,24	61,70	4,63
G10-110	13,72	2,19	1,22	0,37	1,03	0,19	3,20	0,36	65,76	2,45
G10-150	15,13	1,04	1,42	0,53	1,41	0,08	4,28	0,40	61,60	1,47
G12-R	22,22	1,85	2,06	0,72	0,26	0,06	1,64	0,14	65,72	3,45
G12-75	22,97	1,65	1,67	0,27	0,79	0,07	2,34	0,25	58,91	9,55
G12-110	23,11	1,24	1,82	0,34	1,43	0,14	3,79	0,32	74,99	5,17
G12-150	24,37	2,16	1,54	0,52	1,79	0,19	5,01	0,24	65,21	1,51



10

Wyniki

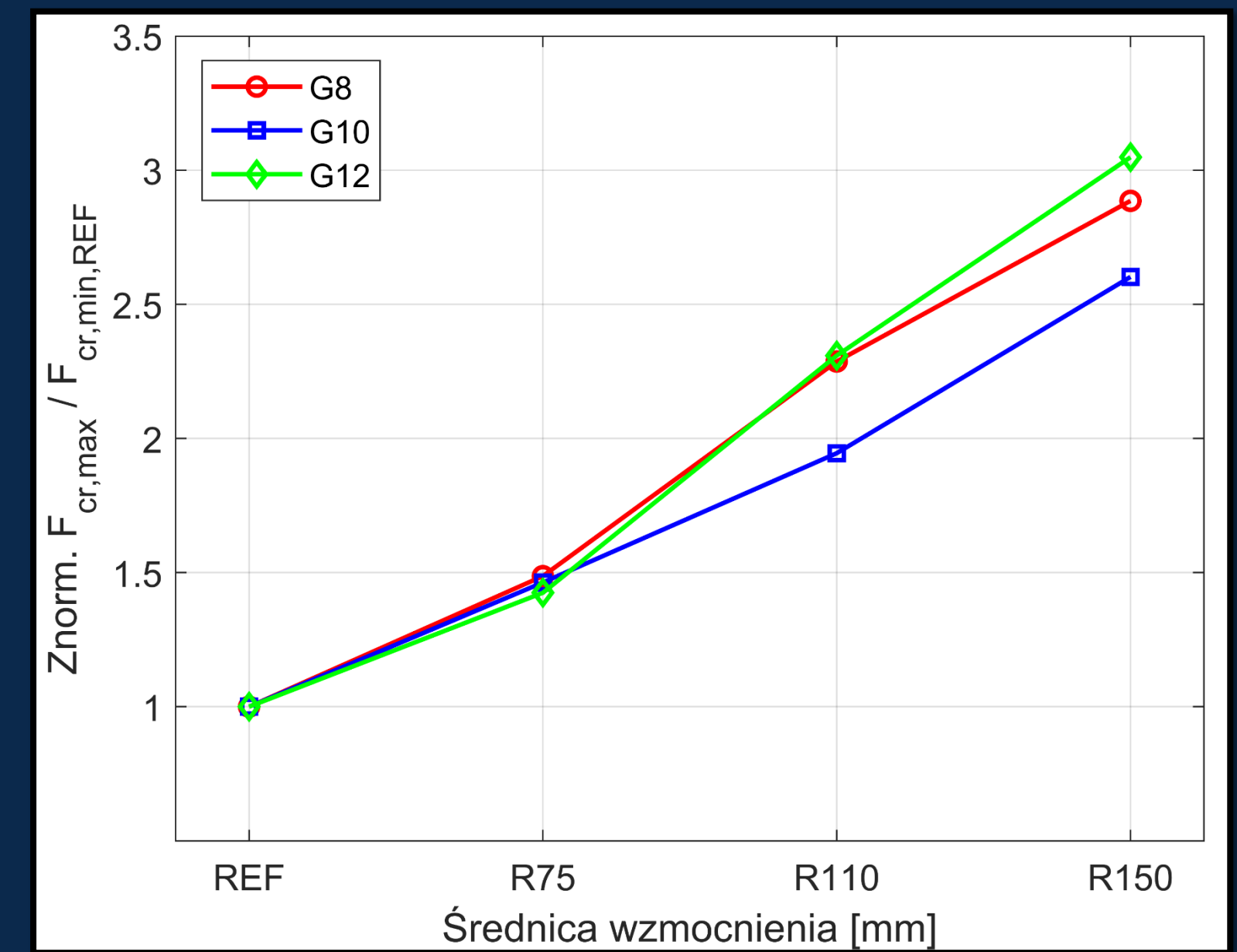
	$F_{el,max}$		$u(F_{el,max})$		$F_{cr,min}$		$F_{cr,max}$		$u_{cr,ult}$	
	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-
G8-R	11,86	1,62	1,50	0,05	0,18	0,04	1,32	0,06	63,20	3,75
G8-75	11,05	1,61	1,06	0,13	0,52	0,19	1,97	0,14	62,58	6,04
G8-110	10,51	2,10	0,79	0,26	0,83	0,09	3,03	0,06	64,19	2,00
G8-150	11,47	0,93	1,25	0,24	1,28	0,08	3,82	0,20	63,00	2,04
G10-R	17,06	1,96	1,23	0,25	0,34	0,10	1,64	0,16	64,12	2,11
G10-75	16,15	1,25	1,17	0,28	0,68	0,11	2,40	0,24	61,70	4,63
G10-110	13,72	2,19	1,22	0,37	1,03	0,19	3,20	0,36	65,76	2,45
G10-150	15,13	1,04	1,42	0,53	1,41	0,08	4,28	0,40	61,60	1,47
G12-R	22,22	1,85	2,06	0,72	0,26	0,06	1,64	0,14	65,72	3,45
G12-75	22,97	1,65	1,67	0,27	0,79	0,07	2,34	0,25	58,91	9,55
G12-110	23,11	1,24	1,82	0,34	1,43	0,14	3,79	0,32	74,99	5,17
G12-150	24,37	2,16	1,54	0,52	1,79	0,19	5,01	0,24	65,21	1,51



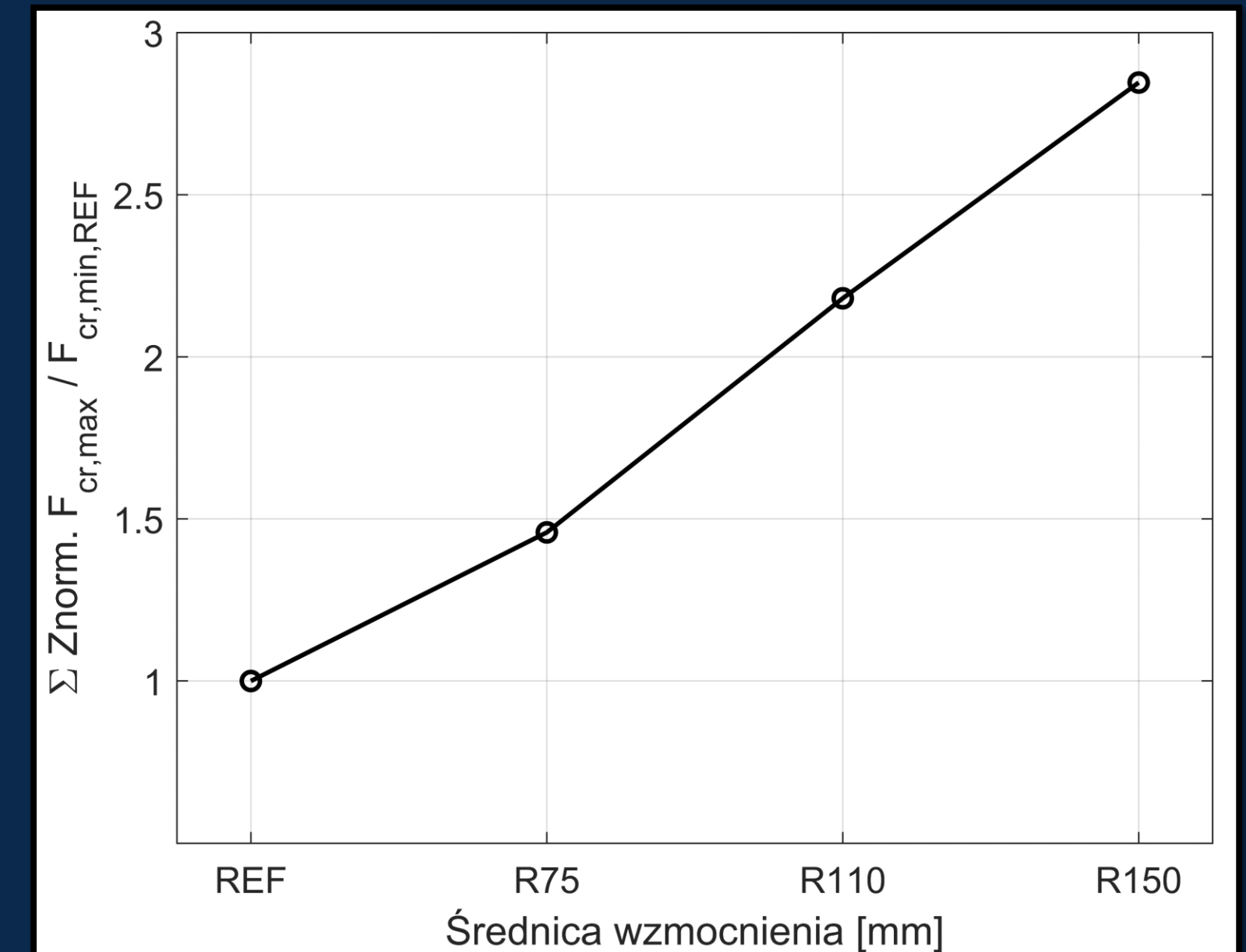
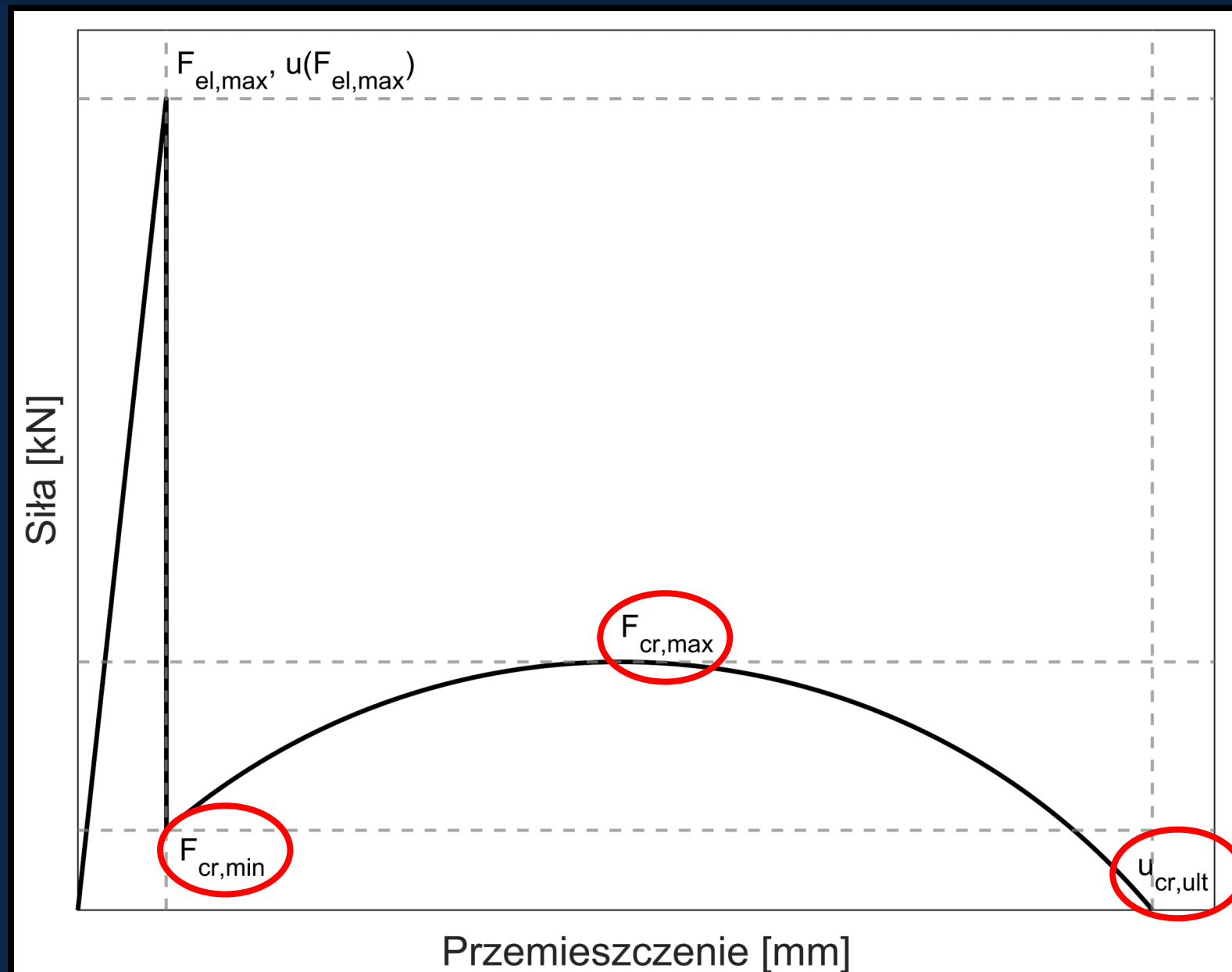
11

Wyniki

	$F_{el,max}$		$u(F_{el,max})$		$F_{cr,min}$		$F_{cr,max}$		$u_{cr,ult}$	
	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-
G8-R	11,86	1,62	1,50	0,05	0,18	0,04	1,32	0,06	63,20	3,75
G8-75	11,05	1,61	1,06	0,13	0,52	0,19	1,97	0,14	62,58	6,04
G8-110	10,51	2,10	0,79	0,26	0,83	0,09	3,03	0,06	64,19	2,00
G8-150	11,47	0,93	1,25	0,24	1,28	0,08	3,82	0,20	63,00	2,04
G10-R	17,06	1,96	1,23	0,25	0,34	0,10	1,64	0,16	64,12	2,11
G10-75	16,15	1,25	1,17	0,28	0,68	0,11	2,40	0,24	61,70	4,63
G10-110	13,72	2,19	1,22	0,37	1,03	0,19	3,20	0,36	65,76	2,45
G10-150	15,13	1,04	1,42	0,53	1,41	0,08	4,28	0,40	61,60	1,47
G12-R	22,22	1,85	2,06	0,72	0,26	0,06	1,64	0,14	65,72	3,45
G12-75	22,97	1,65	1,67	0,27	0,79	0,07	2,34	0,25	58,91	9,55
G12-110	23,11	1,24	1,82	0,34	1,43	0,14	3,79	0,32	74,99	5,17
G12-150	24,37	2,16	1,54	0,52	1,79	0,19	5,01	0,24	65,21	1,51



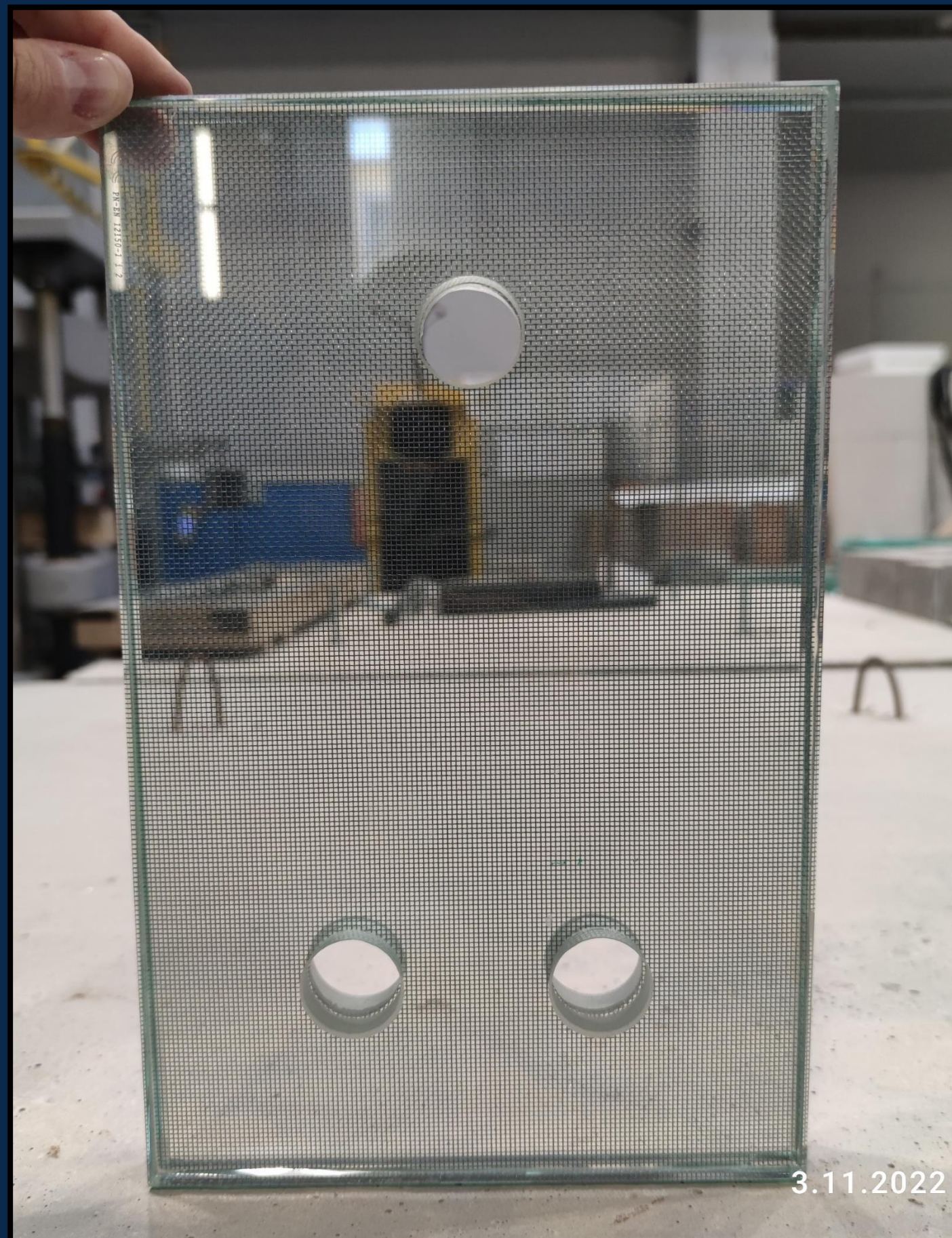
12



Idea wzmocnienia strefy wokół otworów*

Badania rozciągania w płaszczyźnie

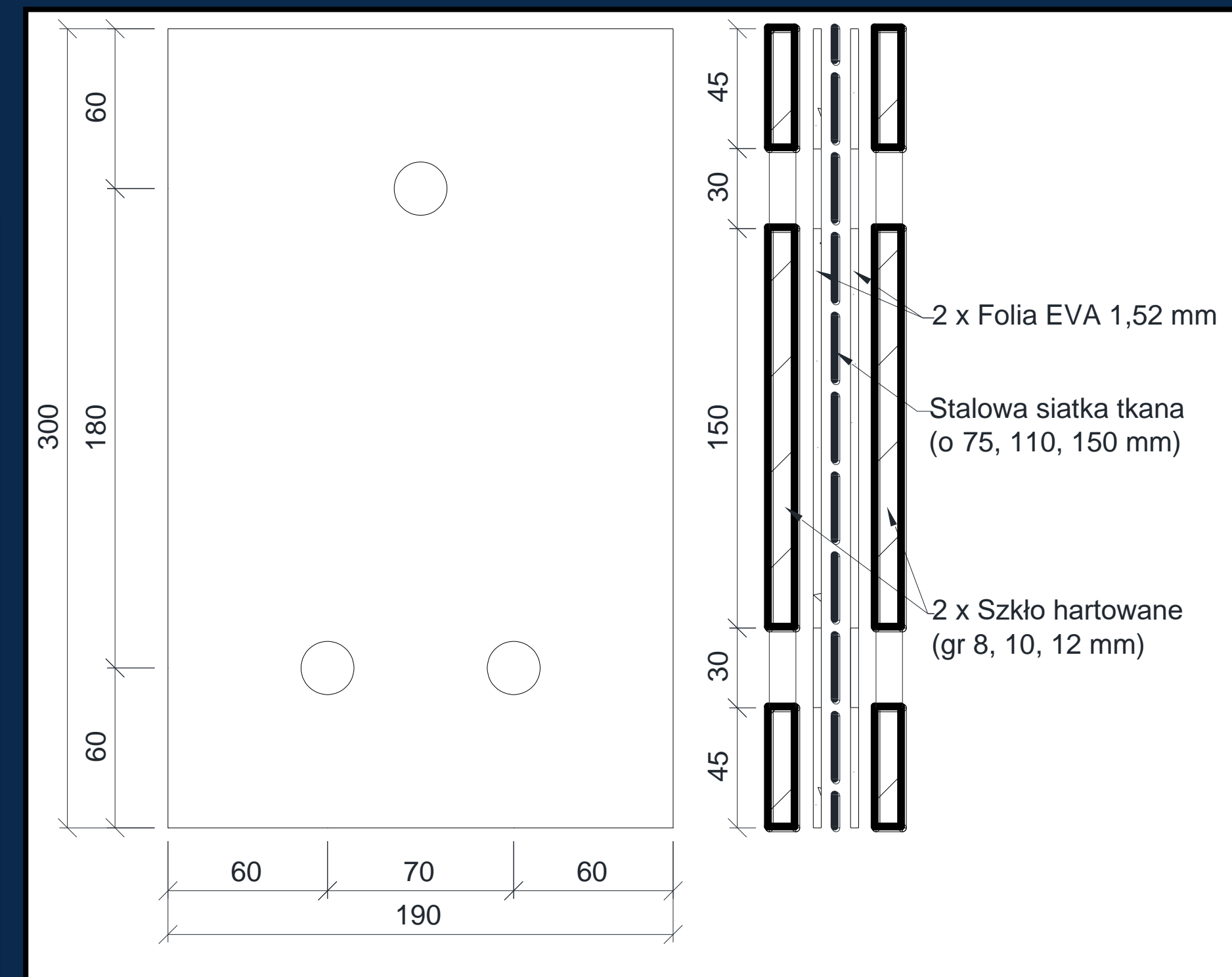
13



Próbka wzmocniona



Próbka referencyjna

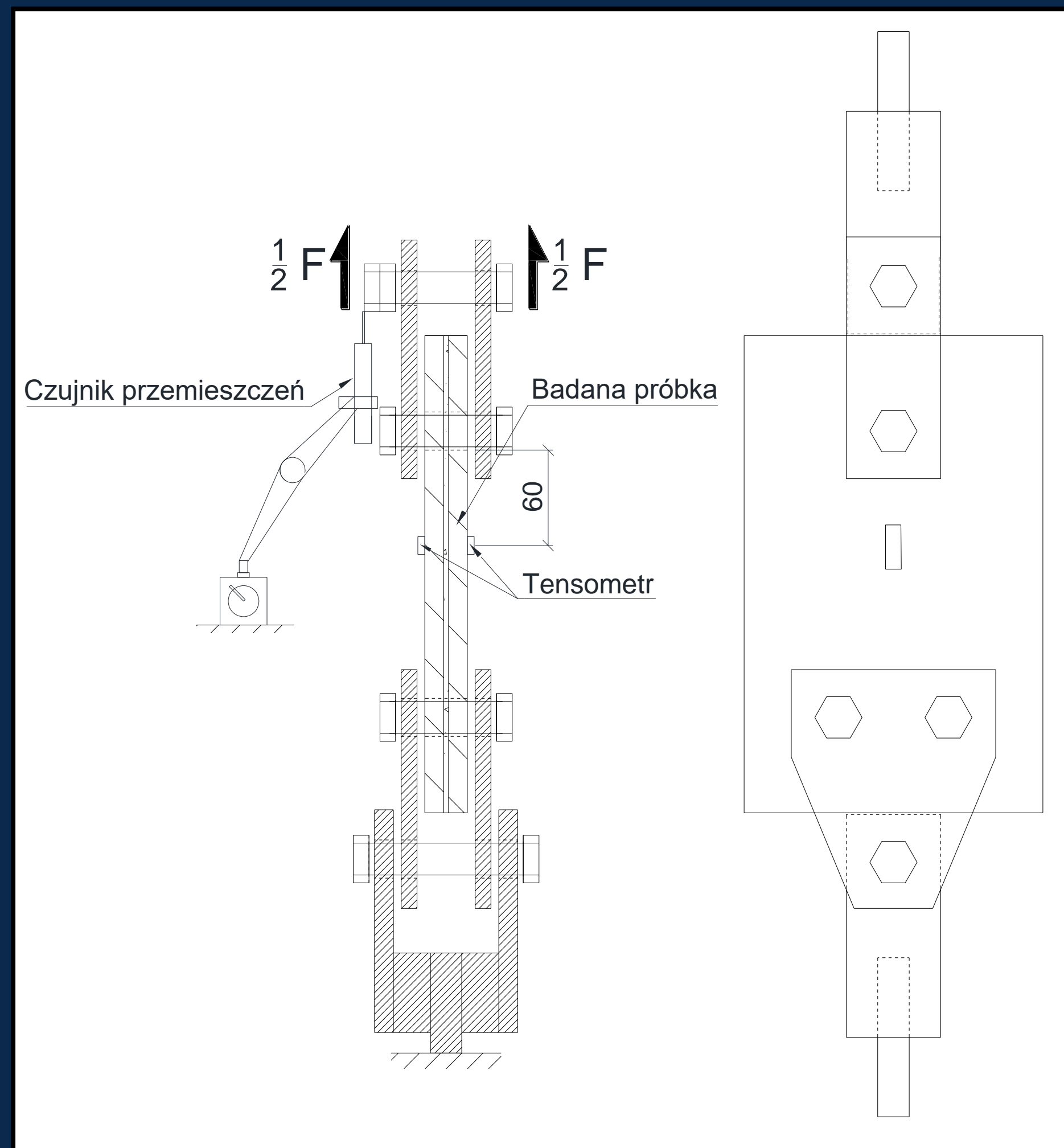


Przebadane próbki:

Gr. szkła	Wzmocnienie	Ilość powtórzeń
G8	REF	3
	WZM	3
G10	REF	5
	WZM	3
G12	REF	4
	WZM	3

*Patent protection P.437856

Stanowisko badawcze



Schemat stanowiska badawczego

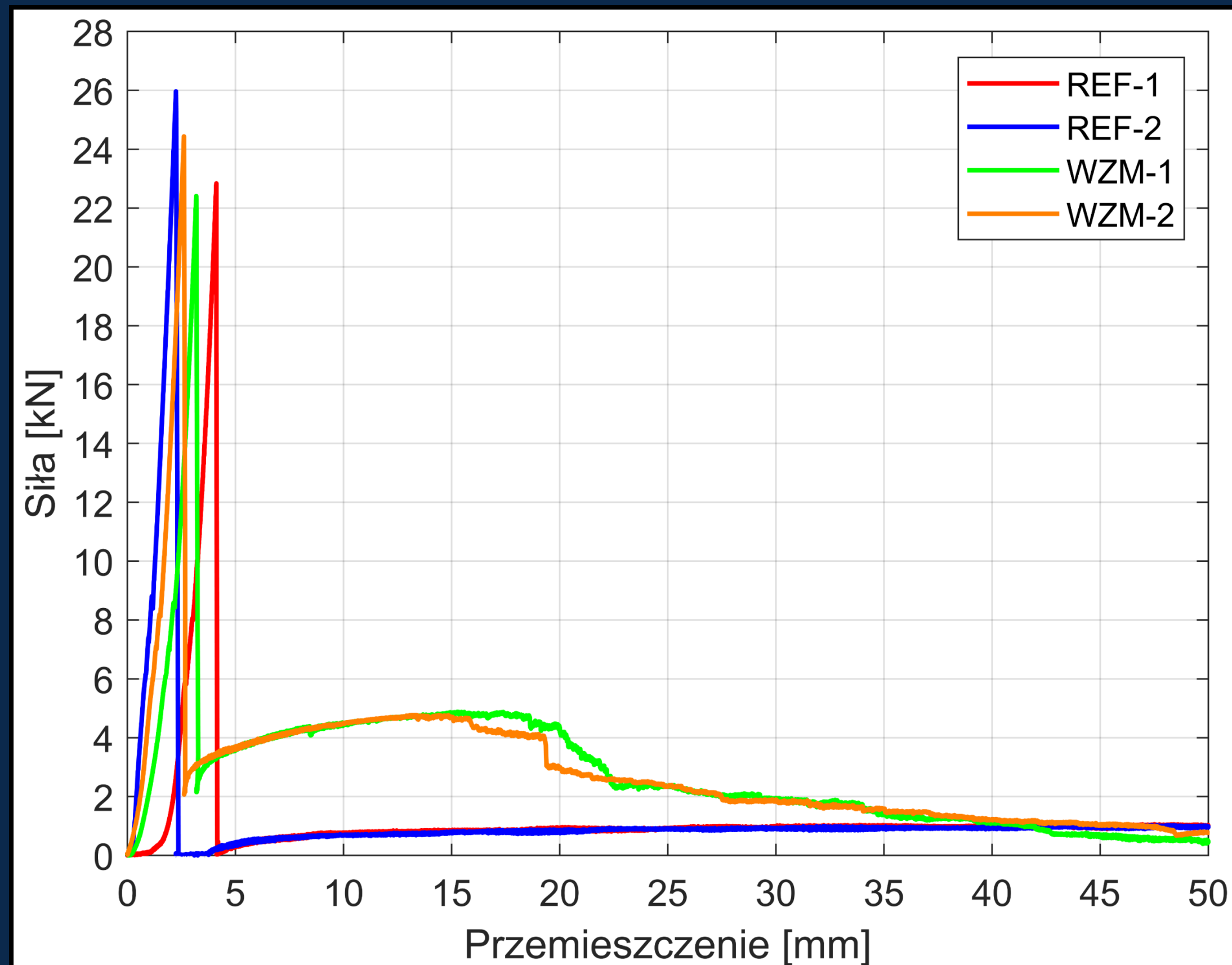


Stanowisko badawcze

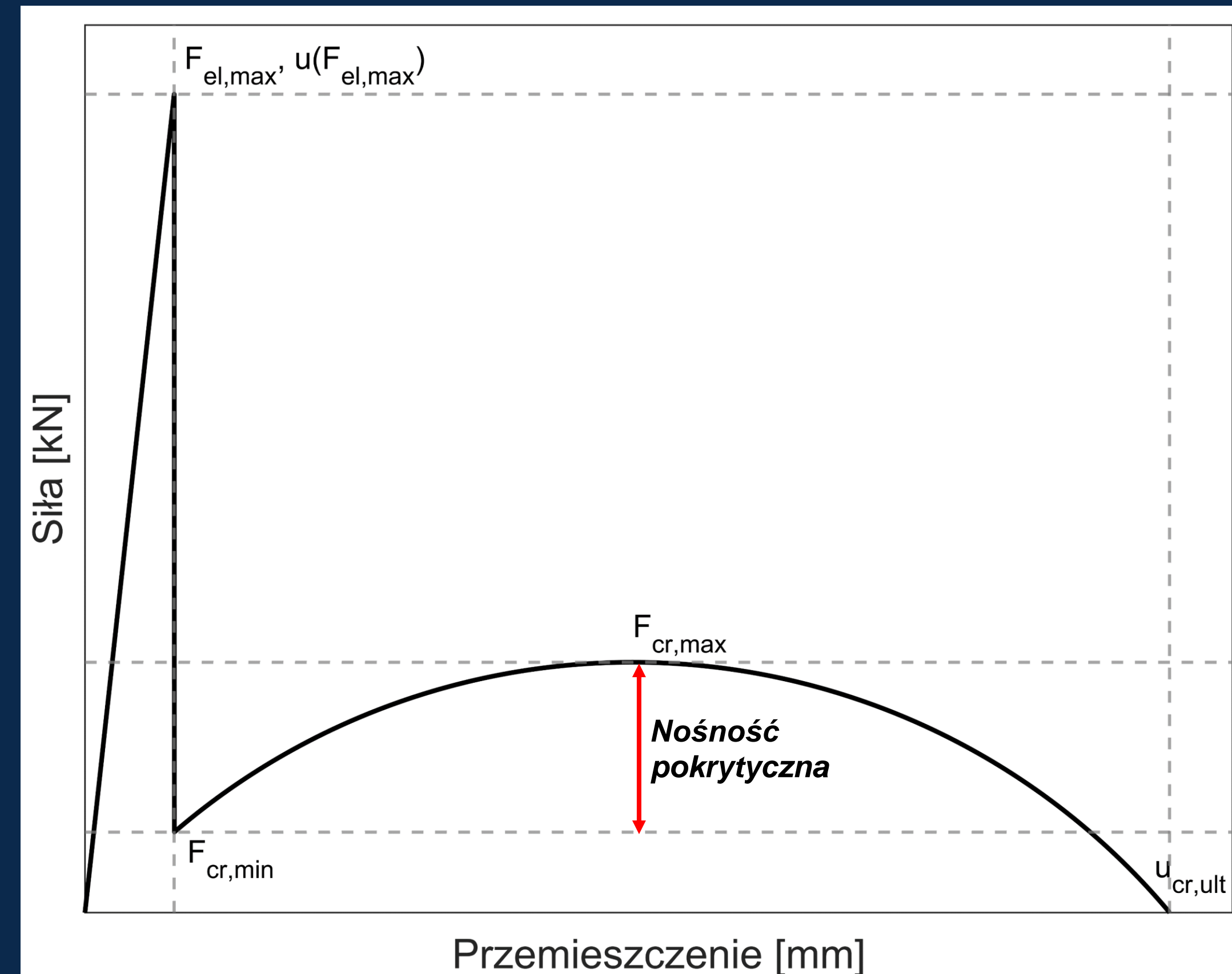
Przebieg badania

15





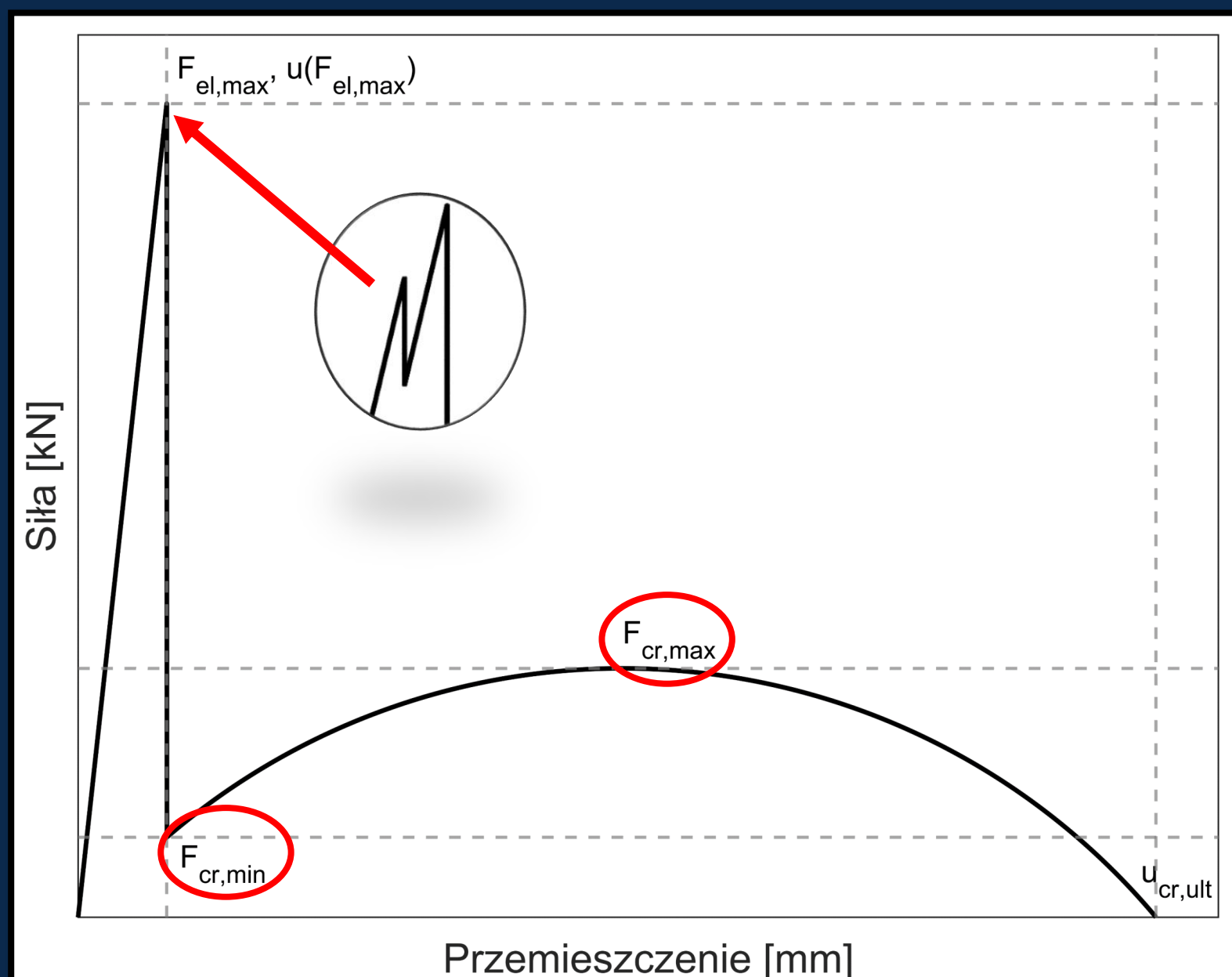
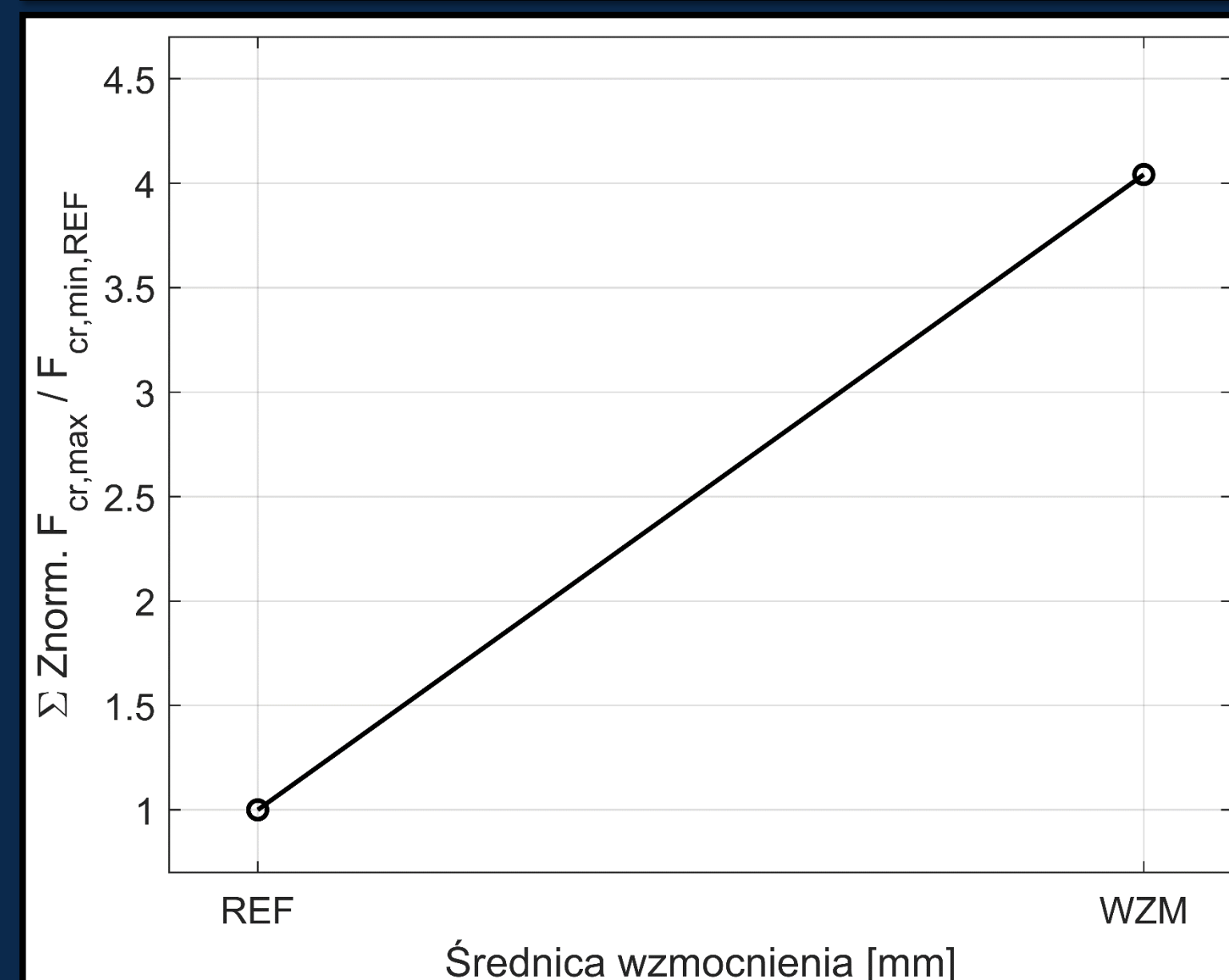
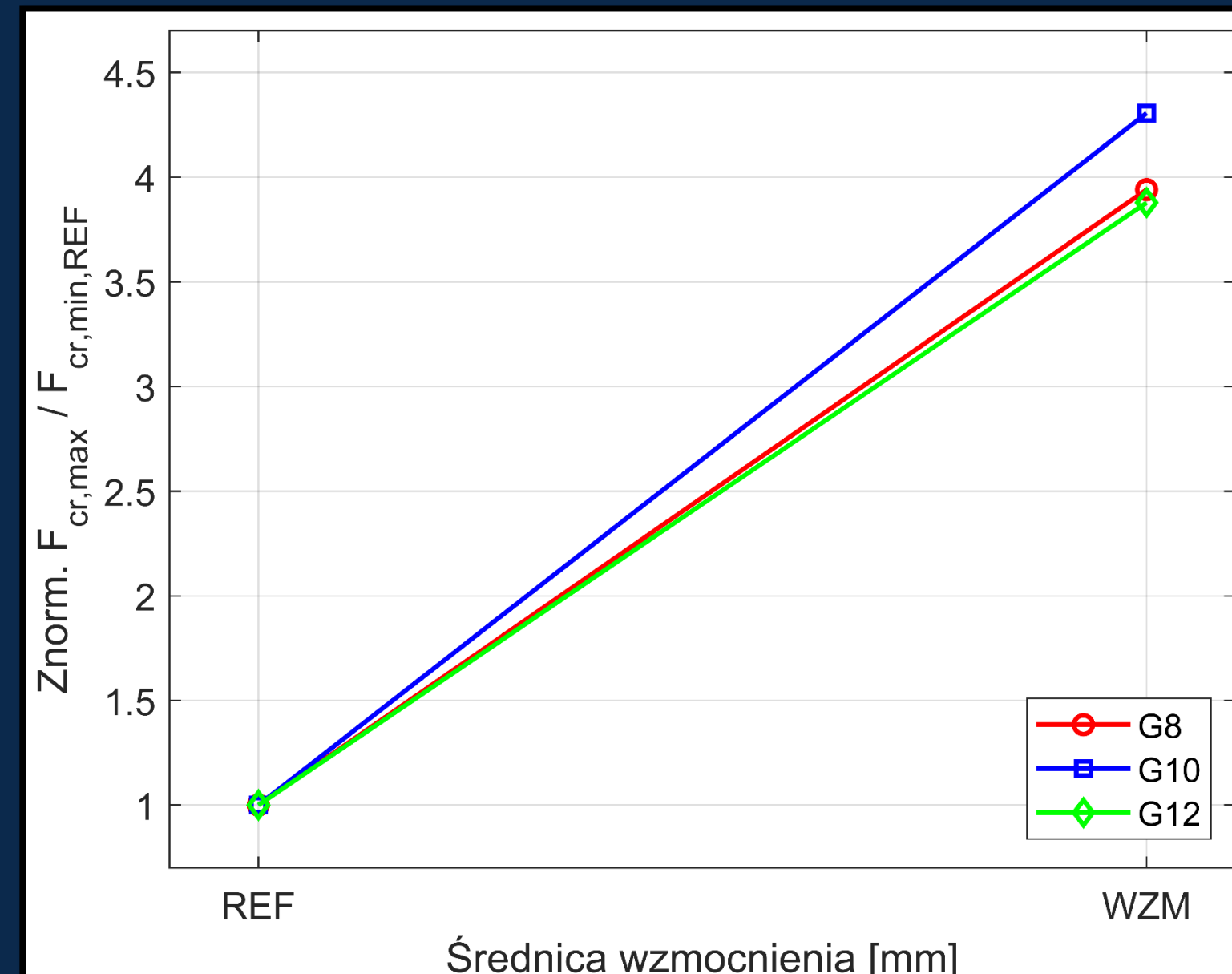
Wykres zależności siła-przemieszczenie dla wybranego przykładu próbek (G12)



Model teoretyczny przebiegu zniszczenia próbki

Wyniki

	$F_{el,max M1}$ [kN]		$F_{el,max M2}$ [kN]		$F_{el,max T}$ [kN]		$F_{cr,min}$		$F_{cr,max}$		$u_{cr,ult}$	
	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-	[kN]	+/-
G8-REF	4,17	0,10	10,56	3,16	8,76	0,13	0,06	0,01	1,20	0,05	95,26	6,03
G8-WZM	9,31	0,14	12,01	2,78	12,36	3,54	2,34	0,26	4,71	0,16	82,75	4,13
G10-REF	13,24	3,37	15,48	5,26	11,10	1,83	0,08	0,02	1,12	0,08	103,94	16,69
G10-WZM	17,75	2,57	28,16	4,35	19,46	4,30	1,95	0,42	4,84	0,22	81,60	12,15
G12-REF	11,75	0,00	21,05	0,00	20,71	3,88	0,08	0,03	1,19	0,09	95,91	21,74
G12-WZM	23,71	0,00	29,89	0,00	20,72	2,85	2,00	0,33	4,61	0,65	90,56	8,59



Bibliografia

Zdjęcia:

[1], [2], [10], [11], [12] – Photo by M. Kozłowski

[3] - <https://www.glassmanufacturerchina.com/pl/products/China-high-quality-17.52mm-21.52mm-31.52mm-Silk-screen-printed-Non-Slip-glass-floor-manufacturers.html>

[4] - <https://www.abc-architektury.com.pl/projekty/balustrady-szklane-nowoczesne-dopelnienie-schodow-i-balkonow>

[5], [7], [8] – Bedon C., Santarsiero M.: Transparency in Structural Glass Systems Via Mechanical, Adhesive, and Laminated Connections - Existing Research and Developments, 2018

[6] – <https://proventuss.eu/en/applications/architectural-systems-of-glass-point-fixing/>

[9] – <https://www.fracturemechanics.org/hole.html>

Publikacje:

- Centalles X., Castro R., Cabeza L.F. Experimental results of mechanical, adhesive, and laminated connections for laminated glass elements – A review. *Engineering Structures*. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.029>

- Bedon C., Santasiero M. Transparency in Structural Glass Systems Via Mechanical, Adhesive, and Laminated Connections - Existing Research and Developments. *Advanced Engineering Materials*. 2018; <https://doi.org/10.1002/adem.201700815>

18

- Quaglini V., Cattaneo S., Biolzi L. Numerical assessment of laminated cantilevered glass plates with point fixings. *Glass Structures & Engineering*. 2020; <https://doi.org/10.1007/s40940-020-00119-5>

- Kozłowski M. Balustrady szklane: Analizy doświadczalne i obliczeniowe, podstawy projektowania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. 2019.

- Stelzer I., Singh Rooprai M. Post Breakage Strength Testing for Overhead Laminated Glass. “Challenging Glass 5 – Conference on Architectural and Structural Applications of Glass”, Ghent University, 2016.

- Bedon C., Louter C. Structural glass beams with embedded GFRP, CFRP or steel reinforcement rods: Comparative experimental, analytical and numerical investigations. *Journal of Building Engineering*. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.12.008>

- Achintha M. Developments in GFRP Reinforced Bolted Joints in Glass. Challenging Glass 6 Conference on Architectural and Structural Applications of Glass, Delft University of Technology, May 2018.

- Martin M. i in. Polymeric interlayer materials for laminated glass: A review. *Construction and Building Materials*. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116897>

- EAD 090062-00-0404 Kits for external wall claddings mechanically fixed. European Assessment Document, EOTA 2018.

- Dispersyn J., Belis J., Sonck D. New glass design method for adhesive point-fixing applications. *Structures and Buildings*. 2015; <https://doi.org/10.1680/stbu.13.00103>

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Prezentacja została zrealizowana w ramach projektu badawczego „Innowacyjne rozwiązania dla szkła laminowanego mocowanego punktowo o zwiększonej nośności pokrytycznej” (LIDER/34/0125/L-11/19/NCBR/2020) finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER XI

19

Miejsce realizacji projektu: Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej
Kierownik projektu: dr hab. inż. Marcin Kozłowski, prof. PŚ

Wydział Budownictwa
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
pok. 209, nr tel.: 797 651 573



E-mail

dominik.wasik@polsl.pl