

**POLITECHNIKA KRAKOWSKA**  
**im. T. Kościuszki**

**Wydział Inżynierii Lądowej**  
**Katedra Budowy Mostów i Tuneli**

## **ZAŁĄCZNIK**

### **Załącznik 1**

Wyniki badań w formie graficznej

Wyniki badań w formie danych liczbowych

### **Załącznik 2**

Dokumentacja fotograficzna pracy

**Praca doktorska:**

**mgr inż. Lidia Szopa**



## **ZAŁĄCZNIK 1**

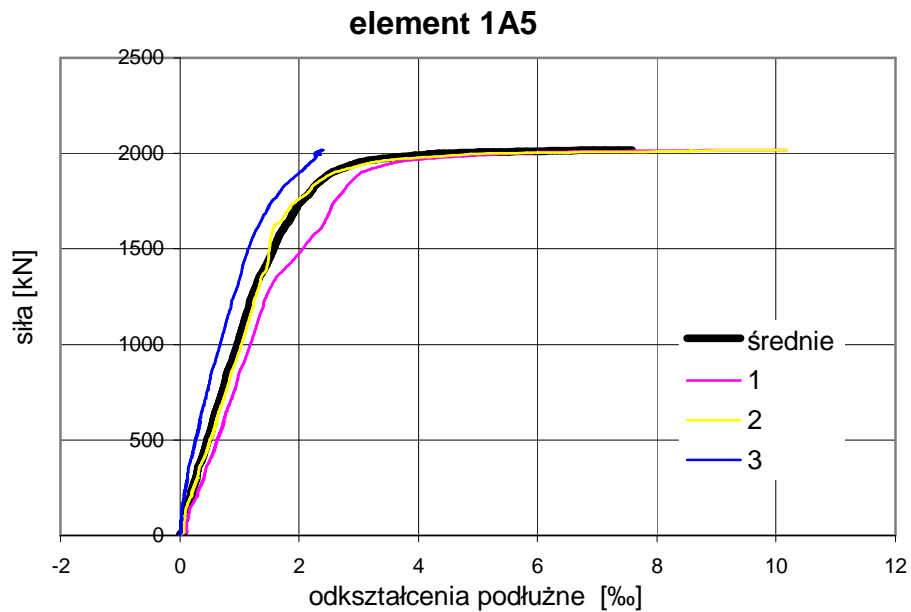
- **Wyniki badań w formie graficznej**
- **Wyniki badań w formie danych liczbowych**



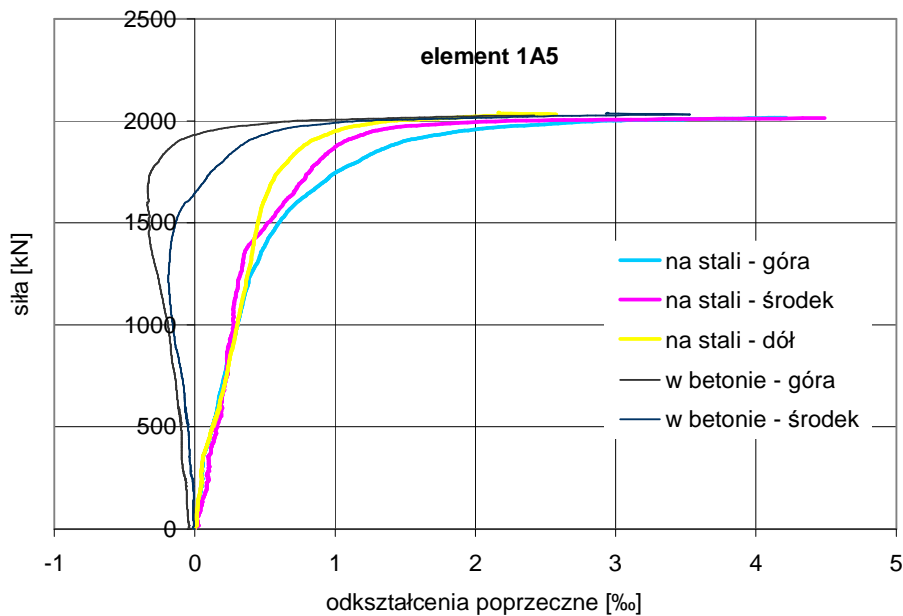
Elementy badawcze.

Serie	Opis elementu	Stal rury	t [mm]	Beton wypełniający
seria A	<b>1A5</b>	R35	5	<b>A</b> beton na kruszywie otoczkowym  <b>C30/37</b>
	<b>2A5</b>	R35	5	
	<b>3A5</b>	R45	5	
	<b>4A5</b>	R45	5	
	<b>5A10</b>	R35	10	
	<b>6A10</b>	R35	10	
	<b>7A10</b>	R45	10	
	<b>8A10</b>	R45	10	
seria B	<b>1B5</b>	R35	5	<b>B</b> na kruszywie bazaltowym <b>C30/37</b>
	<b>2B5</b>	R45	5	
	<b>3B10</b>	R35	10	
	<b>4B10</b>	R45	10	
seria C	<b>1C5</b>	R35	5	<b>C</b> <b>C55/67</b> na kruszywie bazaltowym
	<b>2C5</b>	R45	5	
	<b>3C10</b>	R35	10	
	<b>4C10</b>	R45	10	
seria D	<b>1D5</b>	R35	5	<b>D</b> <b>C25/30</b> na kruszywie otoczkowym
	<b>2D5</b>	R45	5	
	<b>3D10</b>	R35	10	
	<b>4D10</b>	R45	10	
seria E	<b>1E5</b>	R35	5	<b>E</b> <b>LC25/30</b> na kruszywie keramzytowym
	<b>2E5</b>	R45	5	
	<b>3E10</b>	R35	10	
	<b>4E10</b>	R45	10	

## Seria A



Rys. Z1.1. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 1A5.  $N_n = 2040$  kN.



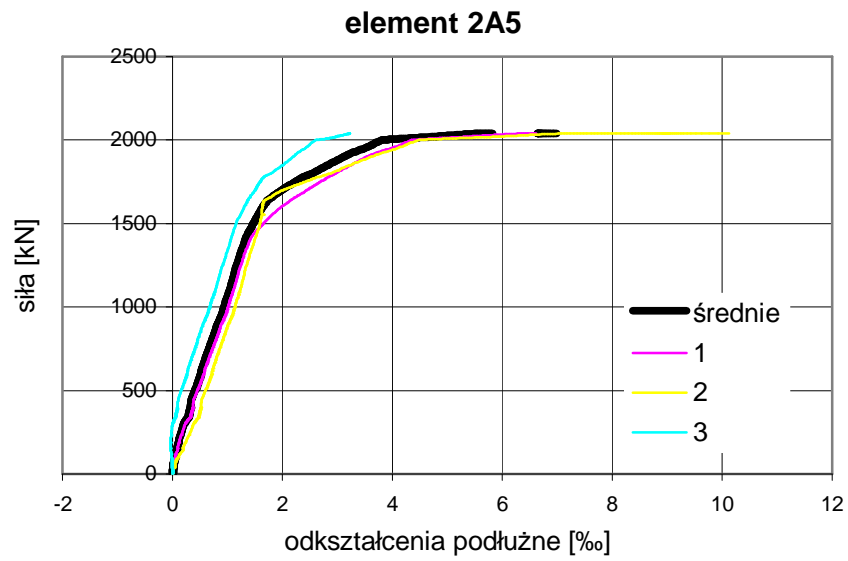
Rys. Z1.2. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 1A5.

$N_n$  - siła niszcząca element badawczy,

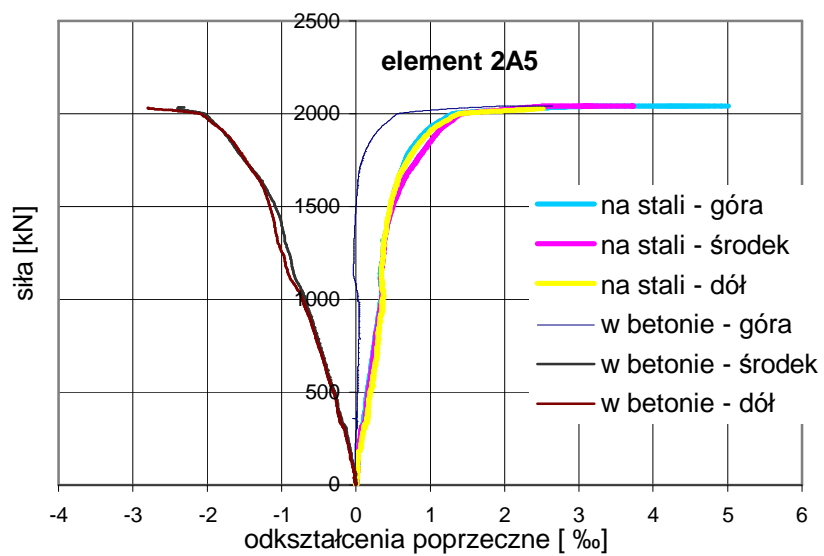
1, 2, 3 - odkształcenia podłużne wskazywane przez tensometr 1, 2, 3,

średnie – odkształcenia podłużne średnie

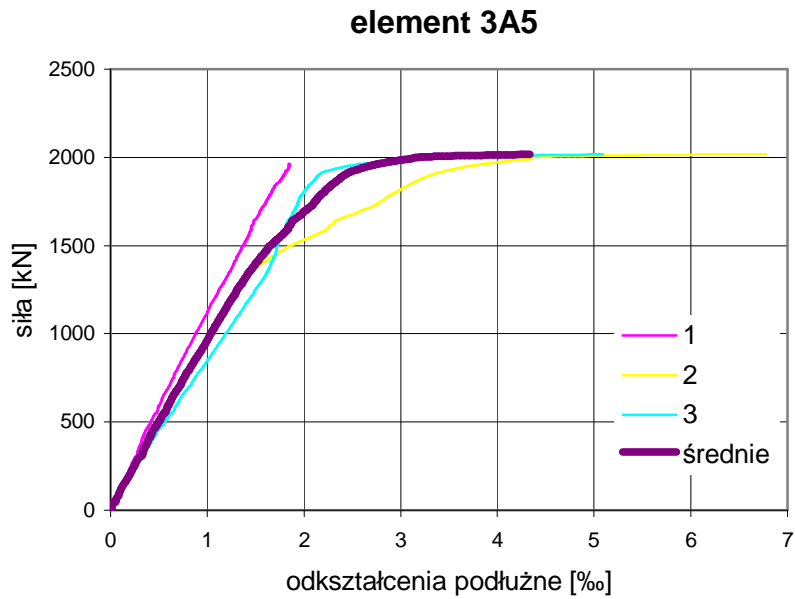




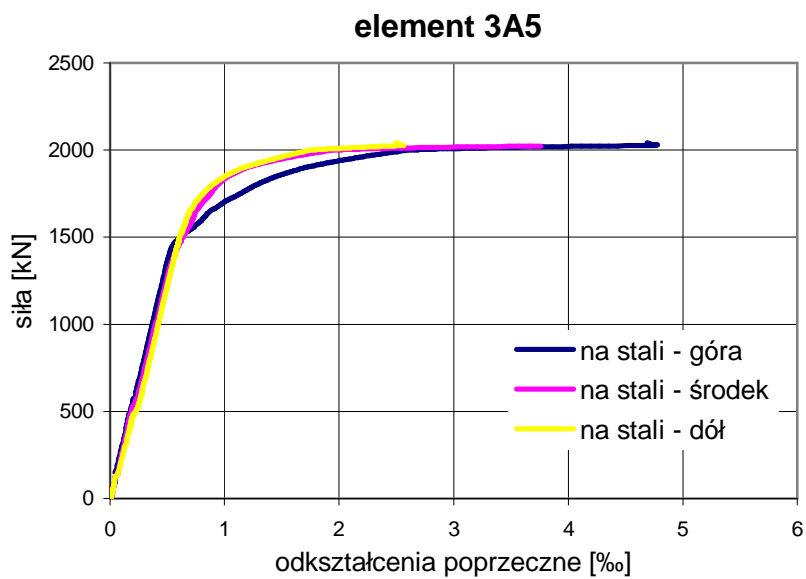
Rys. Z1.3. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 2A5.  $N_n = 2040$  kN.



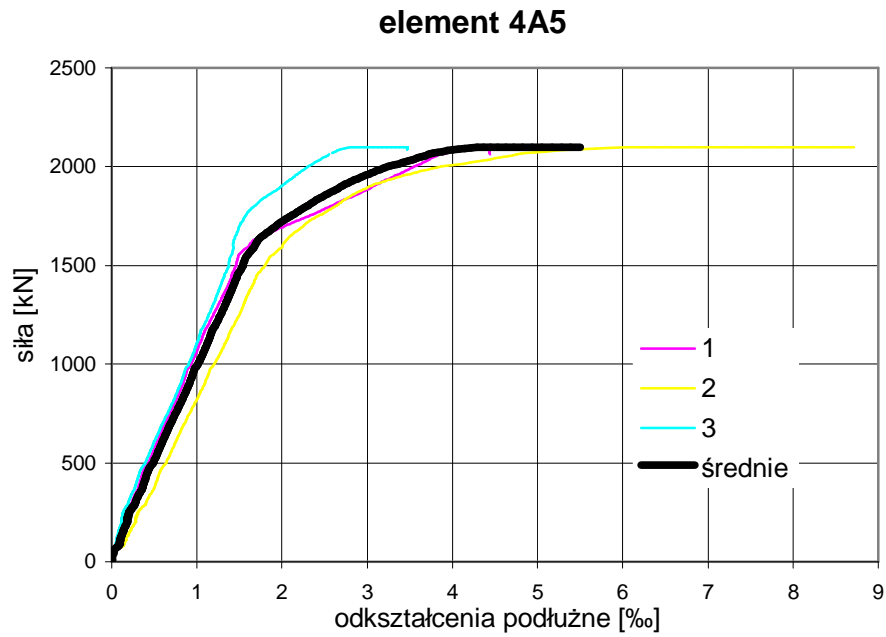
Rys. Z1.4. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 2A5.



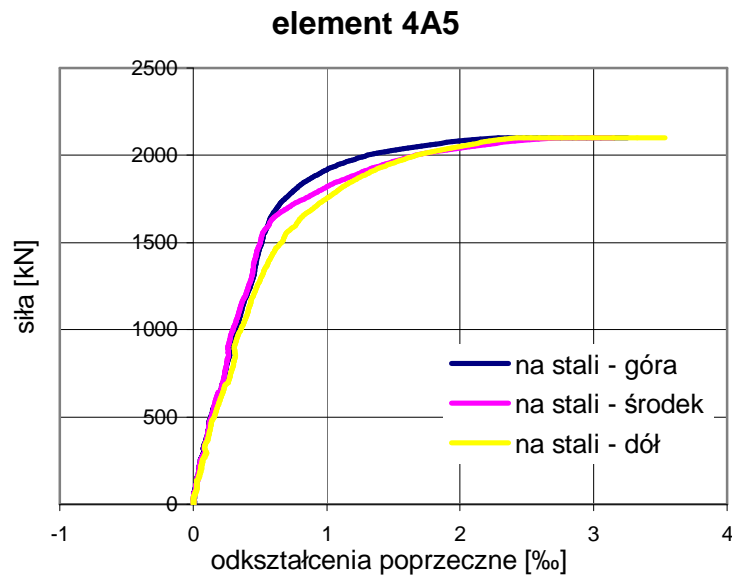
Rys. Z1.5. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 3A5.  $N_n = 2040$  kN.



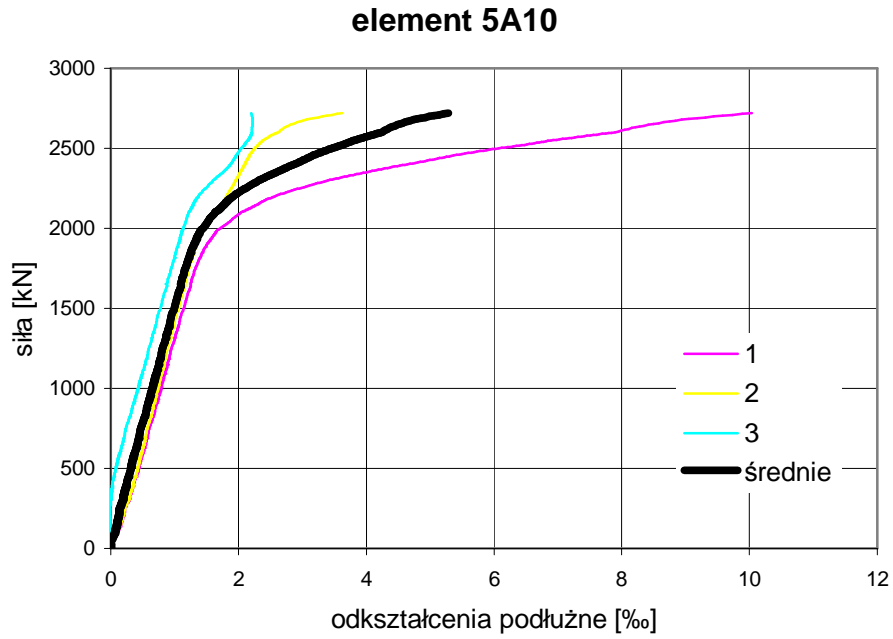
Rys. Z1.6. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 3A5.



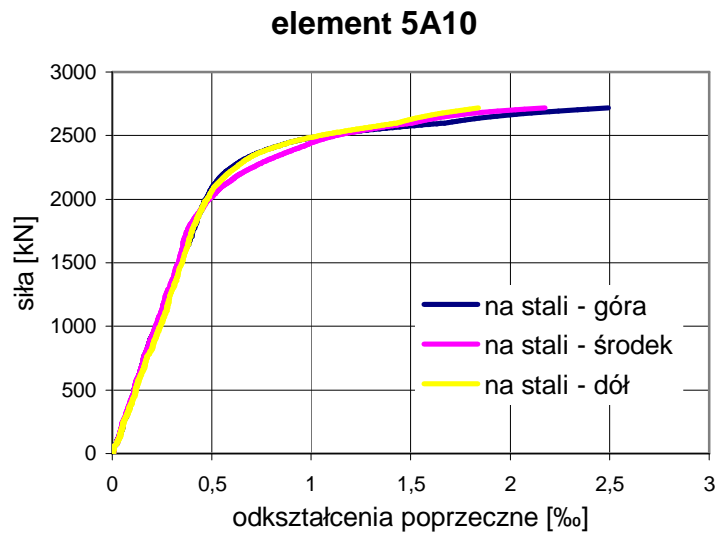
Rys. Z1.7. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 4A5.  $N_n = 2100$  kN.



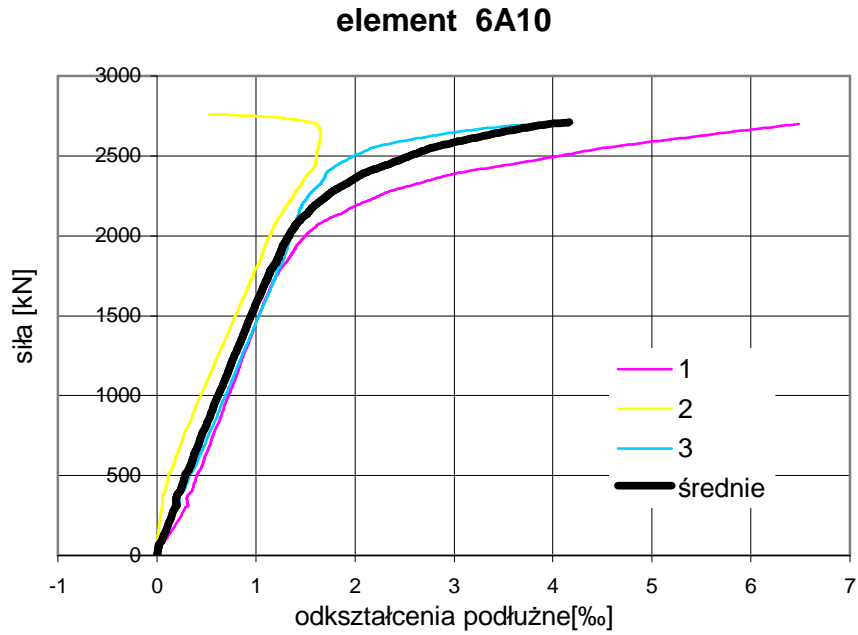
Rys. Z1.8. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 4A5.



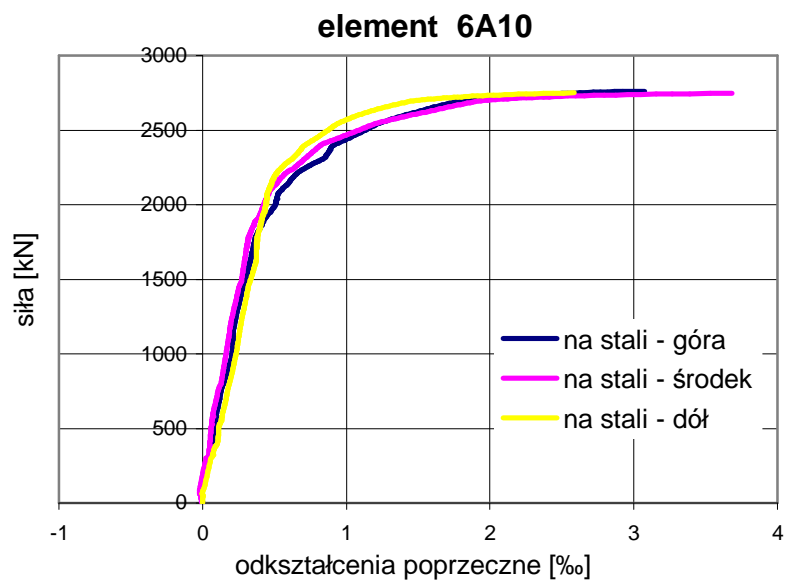
Rys. Z1.9. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 5A10.  $N_n = 2720$  kN.



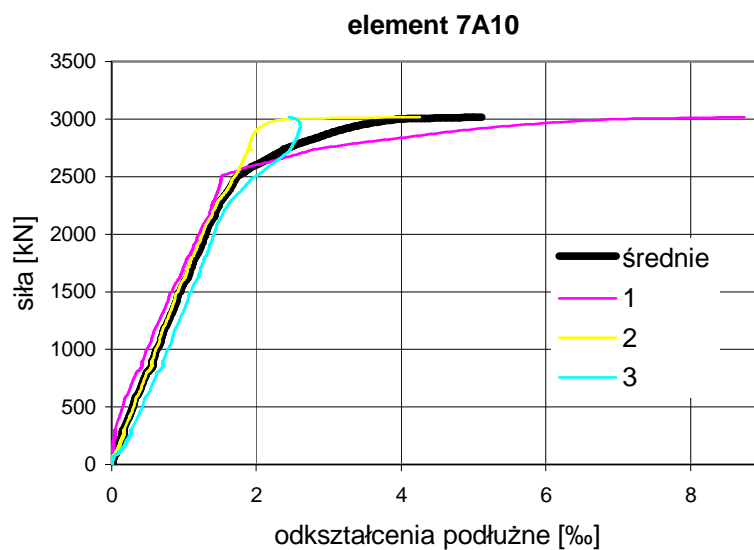
Rys. Z1.10. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 5A10.



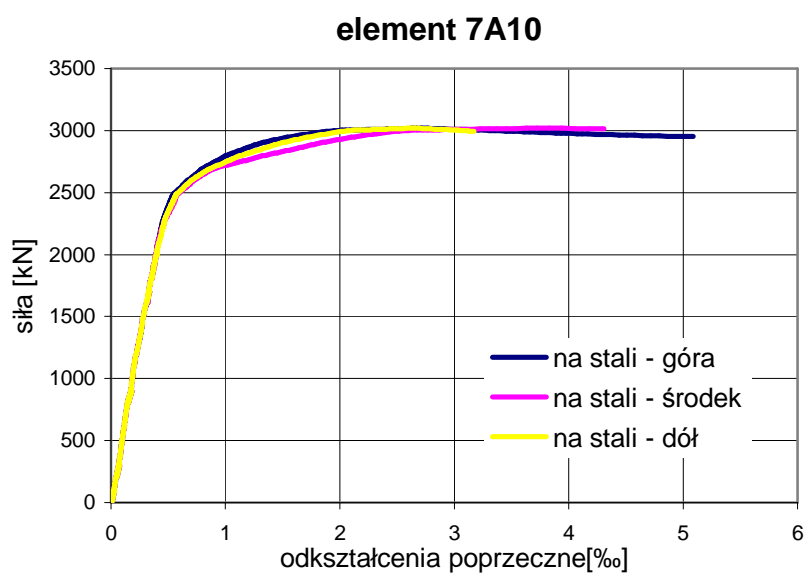
Rys. Z1.11. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 6A10.  $N_n = 2760$  kN.



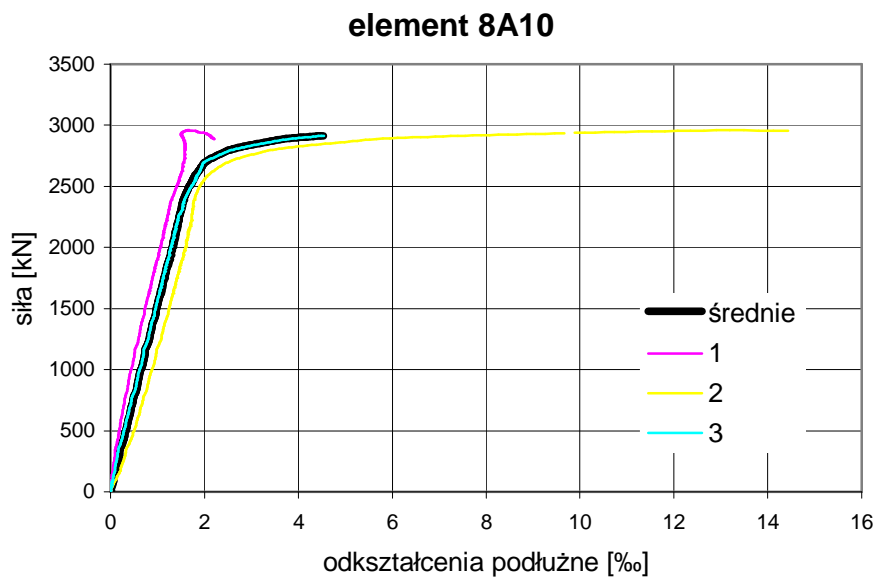
Rys. Z1.12. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 6A10.



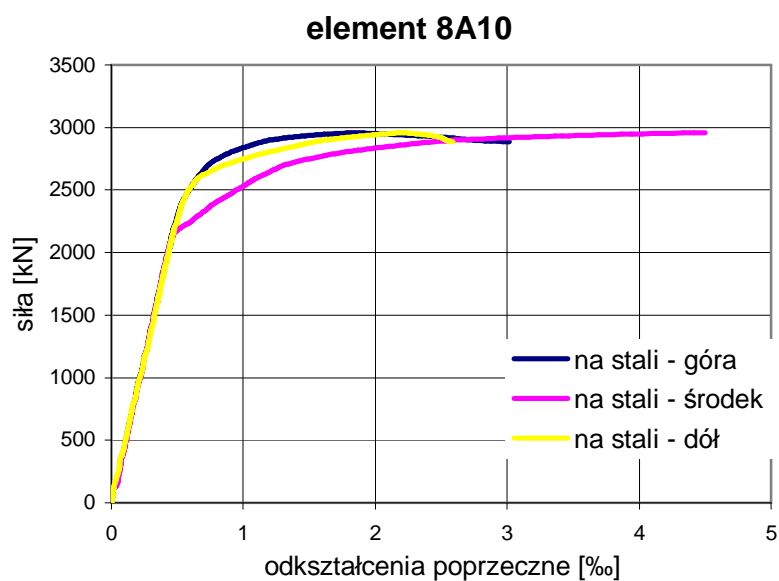
Rys. Z1.13. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 7A10.  $N_n = 3020$  kN.



Rys. Z1.14. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 7A10.



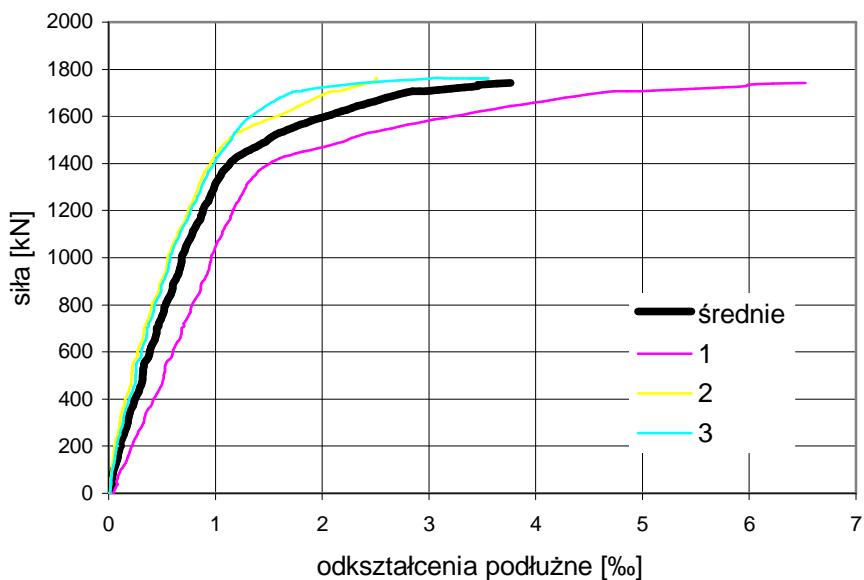
Rys. Z1.15. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 8A10.  $N_n = 2960$  kN.



Rys. Z1.16. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 8A10.

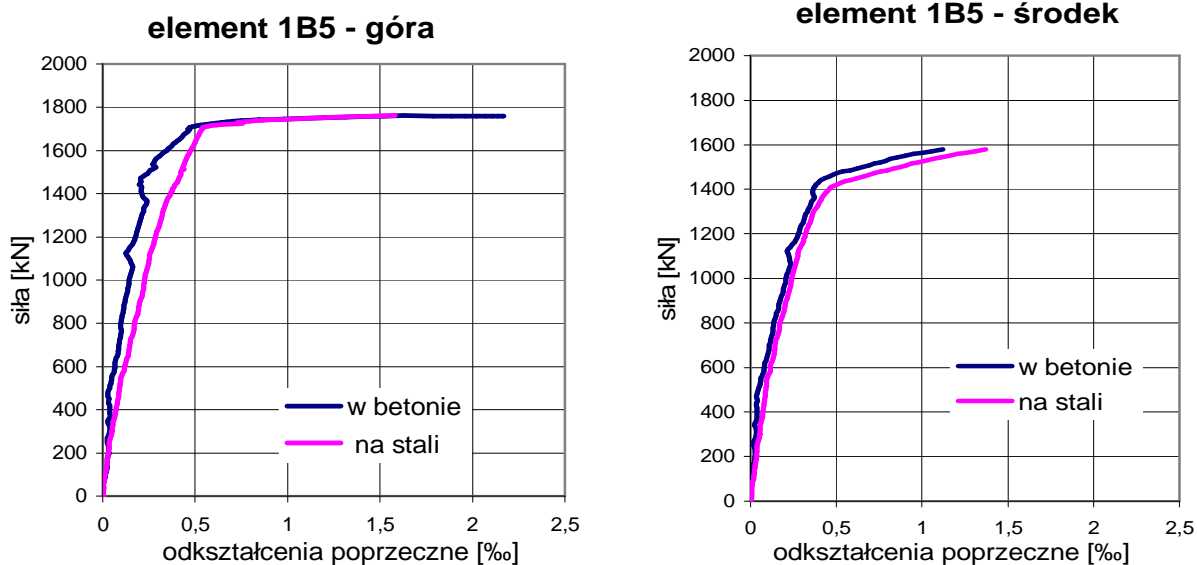
## Seria B

### element 1B5



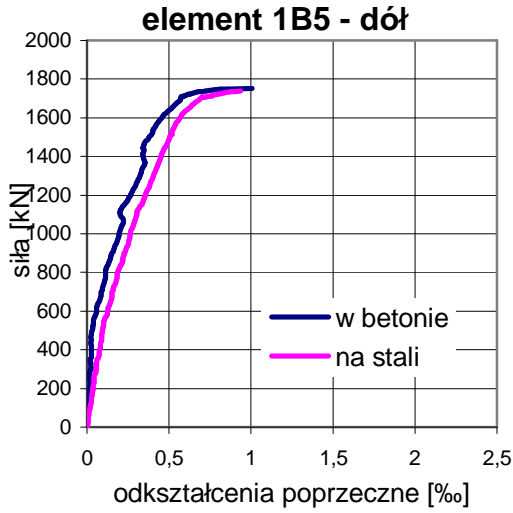
Rys. Z1.17. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 1B5.  $N_n=1760$  kN.

Wartości odkształceń poprzecznych elementów ruro-betonowych w seriach B, C, D, i E przedstawiono na czterech wykresach: na trzech poziomach wysokości - górnym, środkowym i dolnym - odkształcenia poprzeczne betonu wraz z odkształceniami poprzecznymi stali, oraz na jednym wykresie odkształcenia poprzeczne rury stalowej na wszystkich trzech poziomach wysokości elementu badawczego.

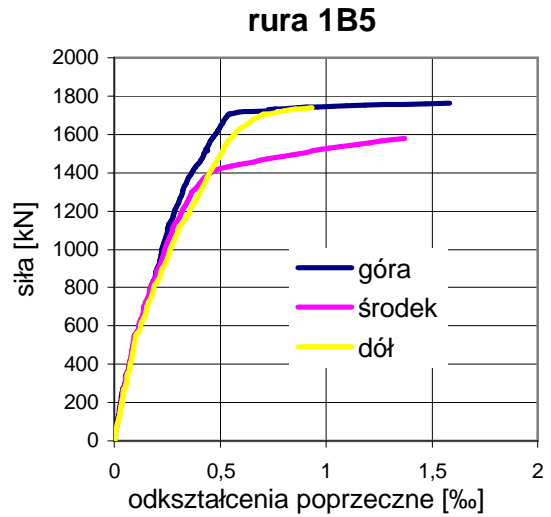


Rys. Z1.18. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 1B5.

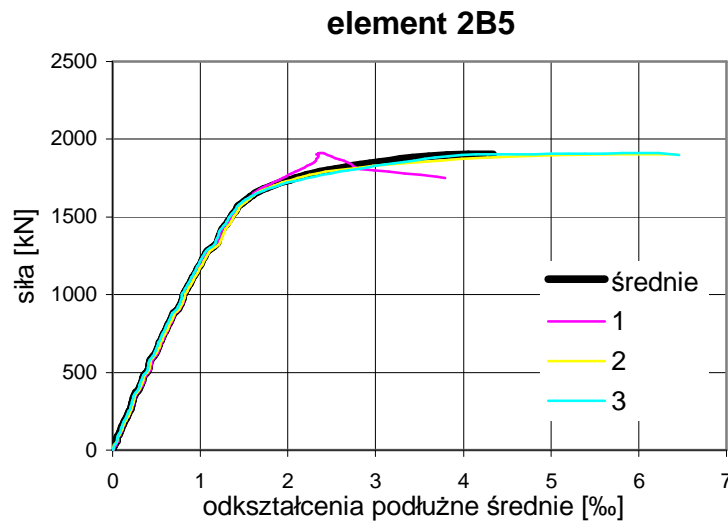




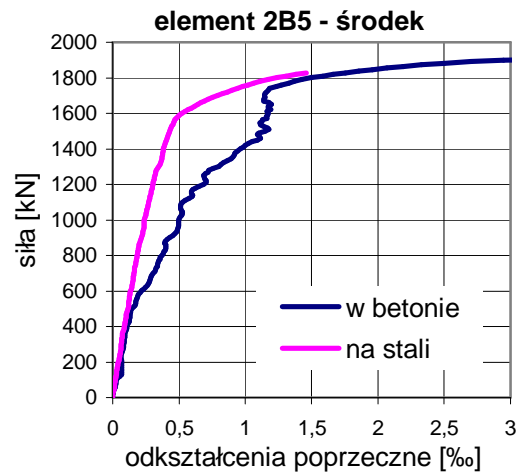
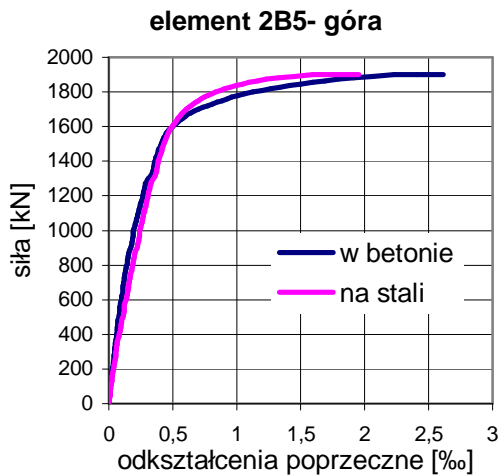
Rys. Z1.19. Zależność między odkształceniami poprzecznymi i siłą ściskającą element 1B5.



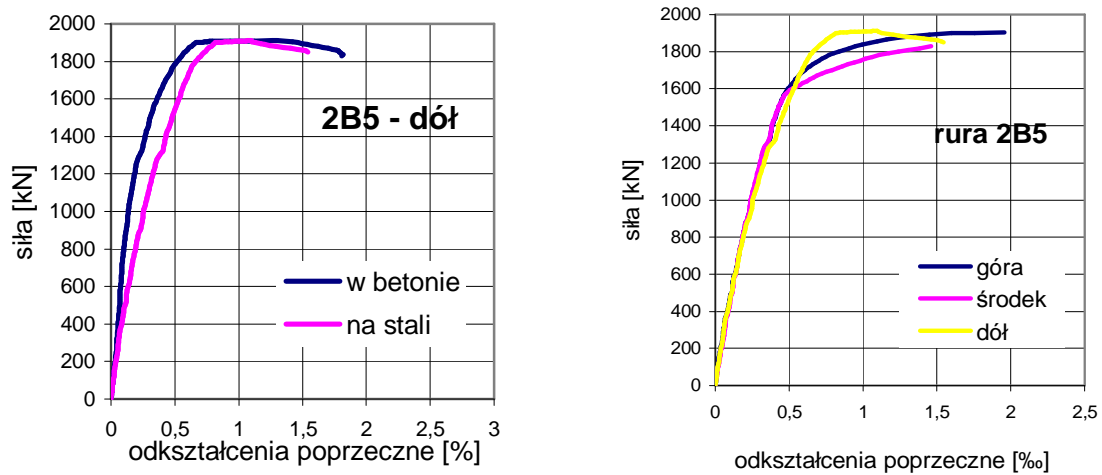
Rys. Z1.20. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.



Rys. Z1.21. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 2B5.  $N_n=1910$  kN.

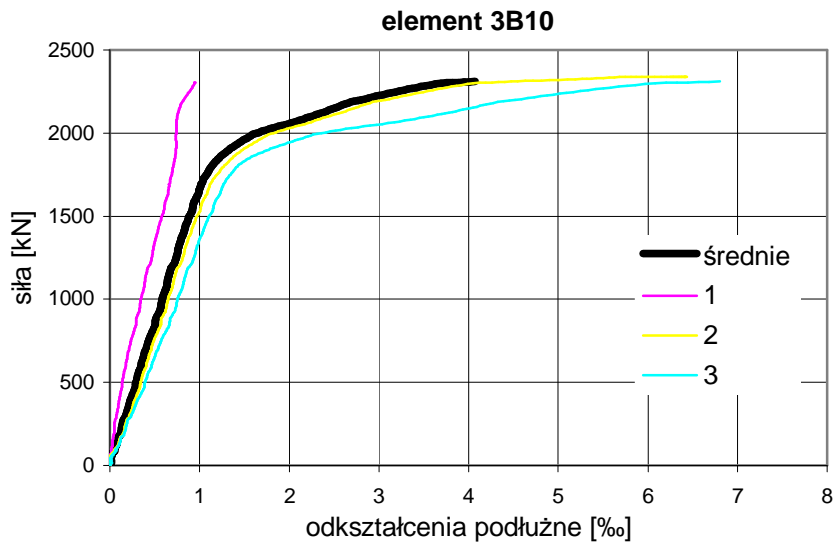


Rys. Z1.22. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 2B5.

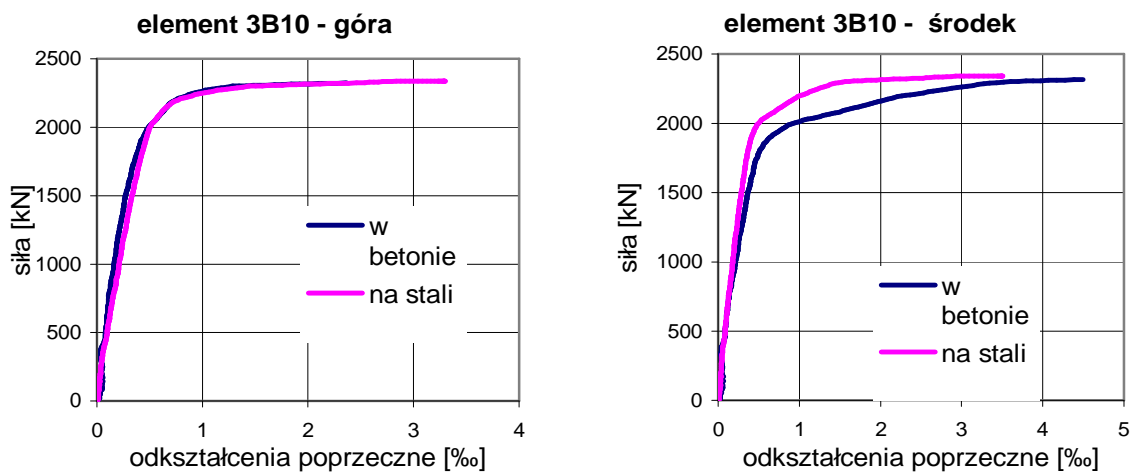


Rys. Z1.23. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 2B5.

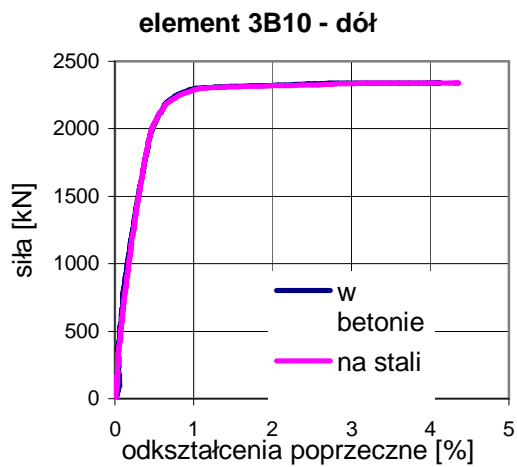
Rys. Z1.24. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



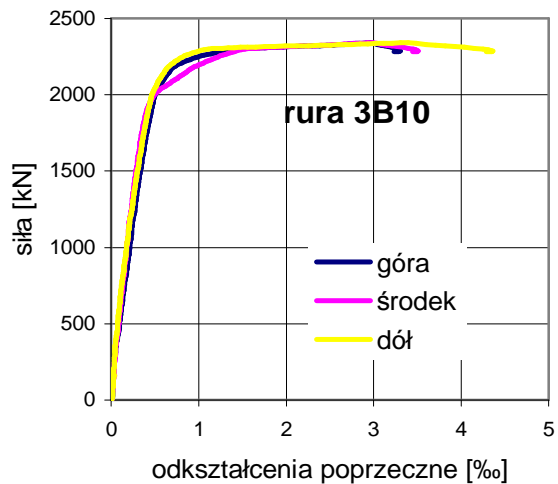
Rys. Z1.25. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 3B10.  $N_n = 2340$  kN.



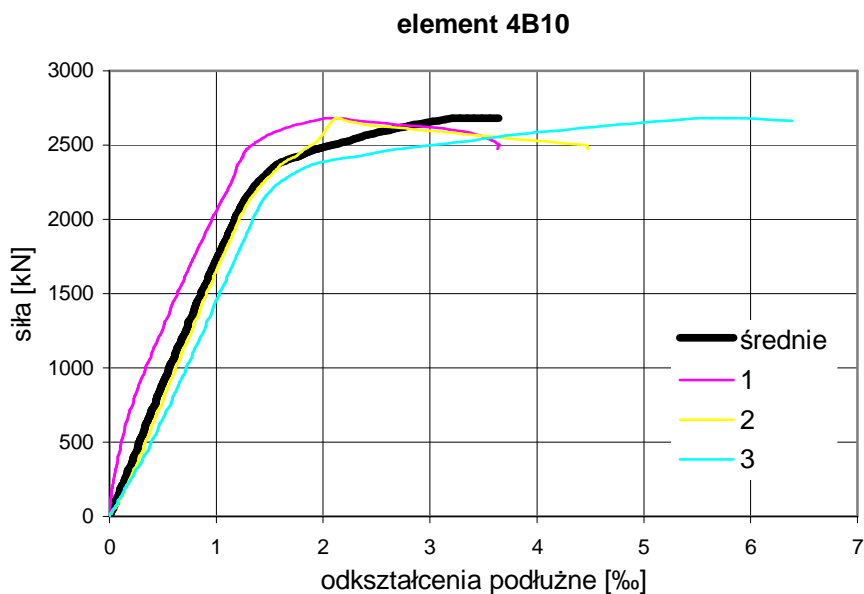
Rys. Z1.26. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 3B10.



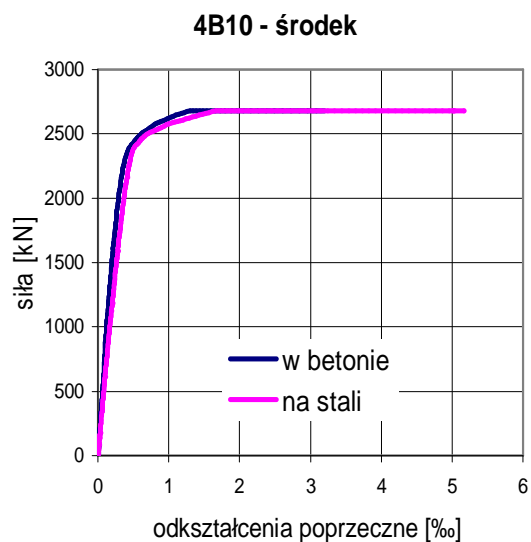
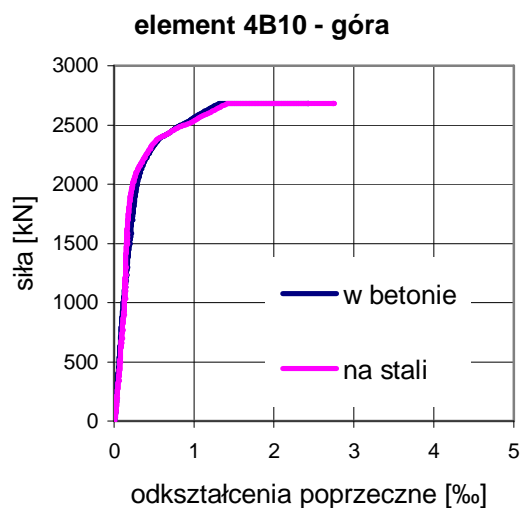
Rys. Z1.27. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 3B10.



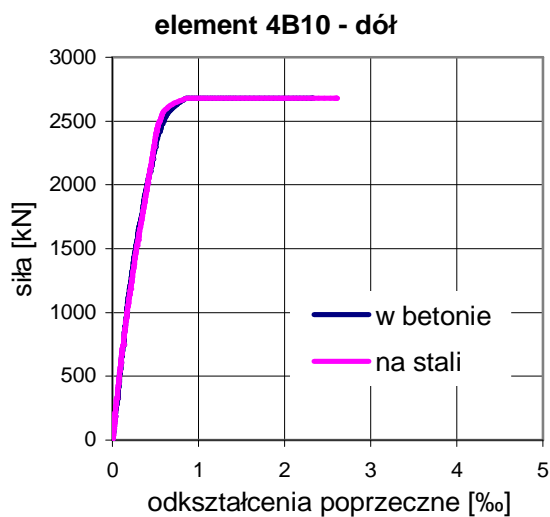
Rys. Z1.28. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.



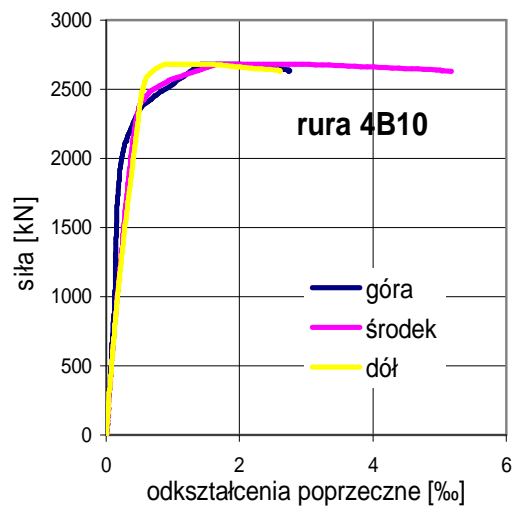
Rys. Z1.29. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 4B10.  $N_n=2680$  kN.



Rys. Z1.30. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 4B10.

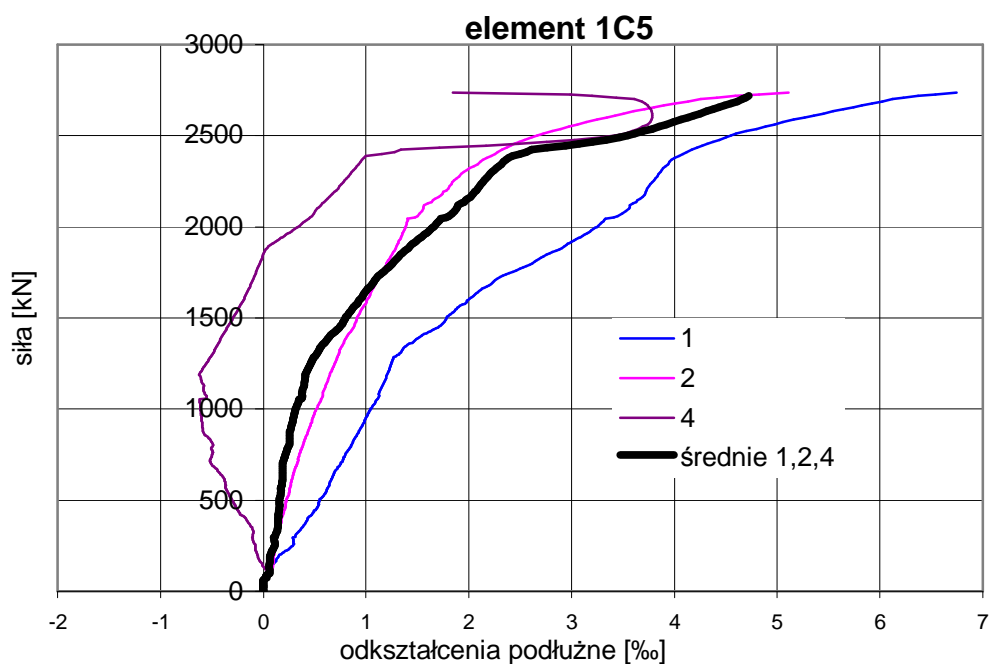


Rys. Z1.31. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 4B10.



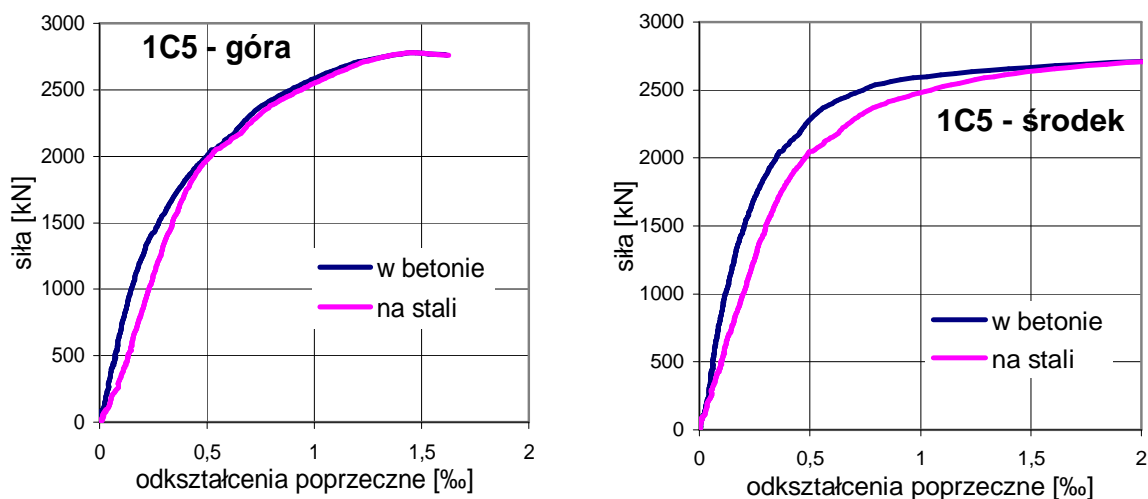
Rys. Z1.32. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.

## Seria C

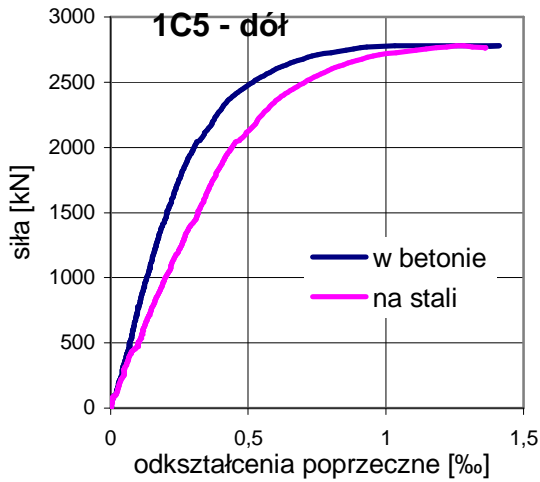


Rys. Z1.33. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 1C5.  $N_n=2780$  kN.

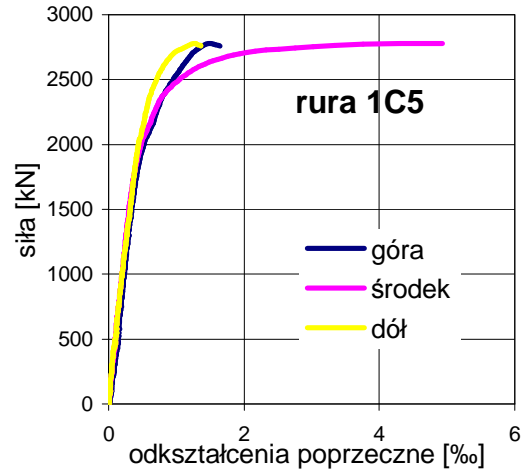
Ponieważ element 1C5 został źle wycentrowany w maszynie wytrzymałościowej pomierzone odkształcenia na tensometrze nr 3 wykazywały chwiejne wskazania odkształceń podłużnych. Na rysunku Z1.33 przedstawiono uśrednioną wartość tych odkształceń oznaczoną symbolem 4.



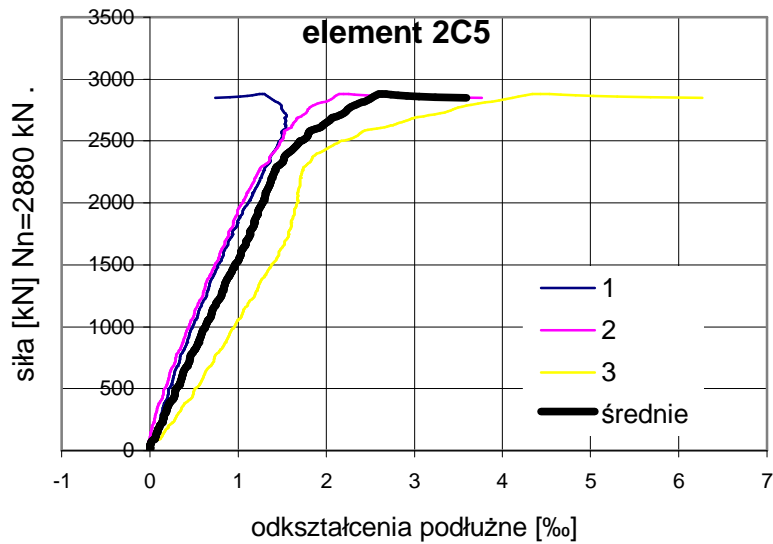
Rys. Z1.34. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 1C5.



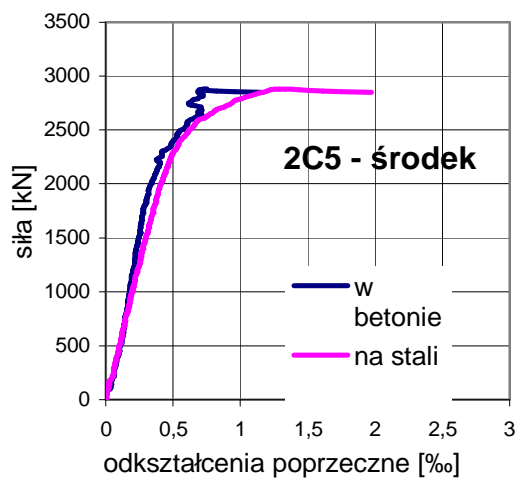
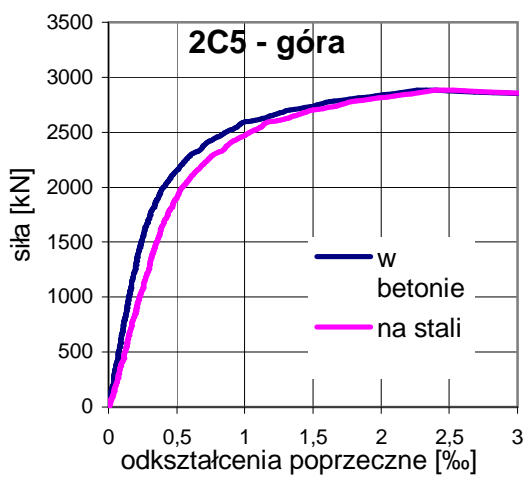
Rys. Z1.35. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 1C5.



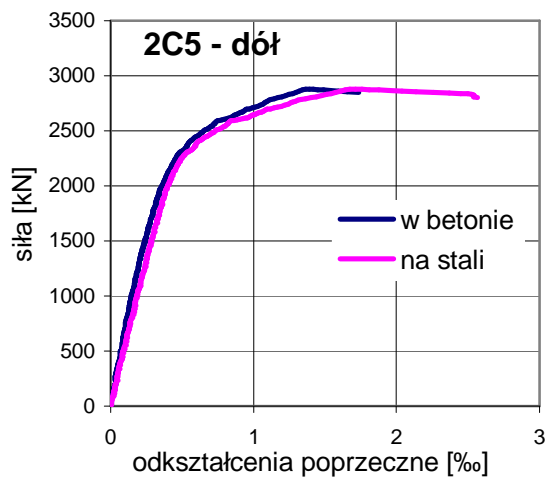
Rys. Z1.36. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



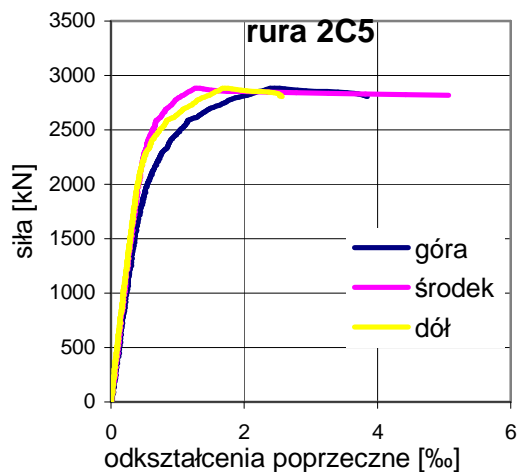
Rys. Z1.37. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 2C5.  $N_n=2880$  kN.



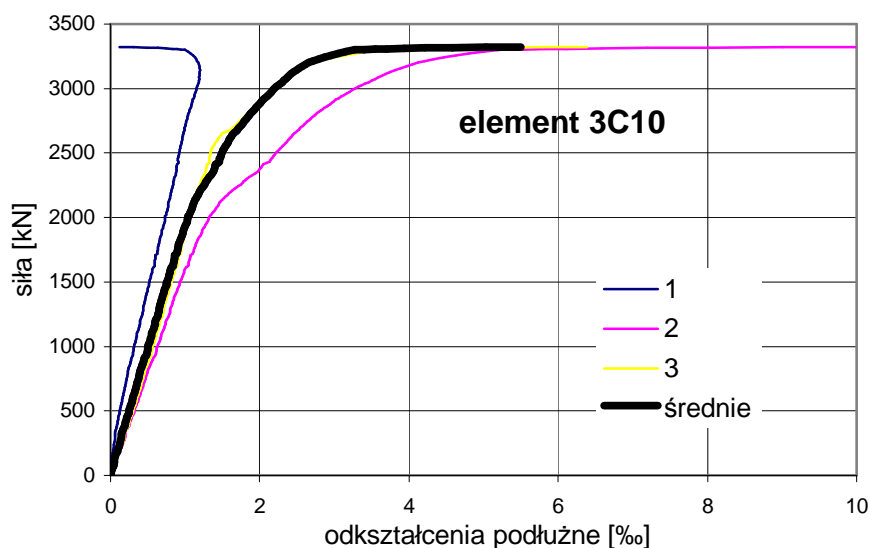
Rys. Z1.38. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 2C5.



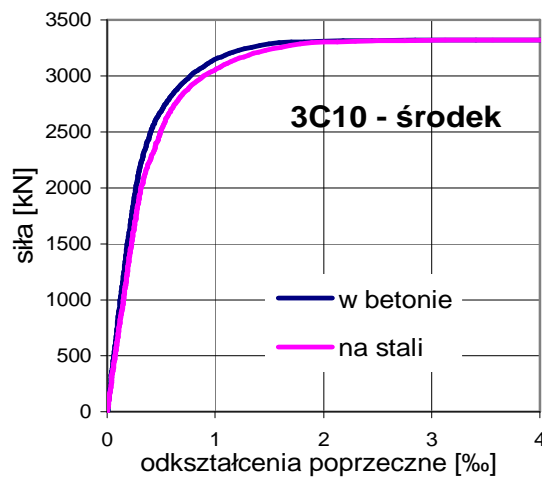
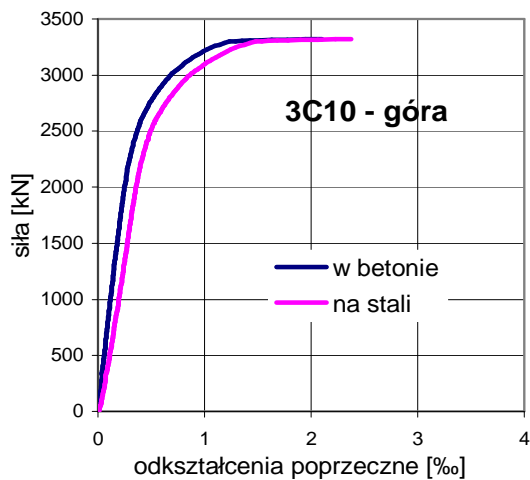
Rys. Z1.39. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 2C5.



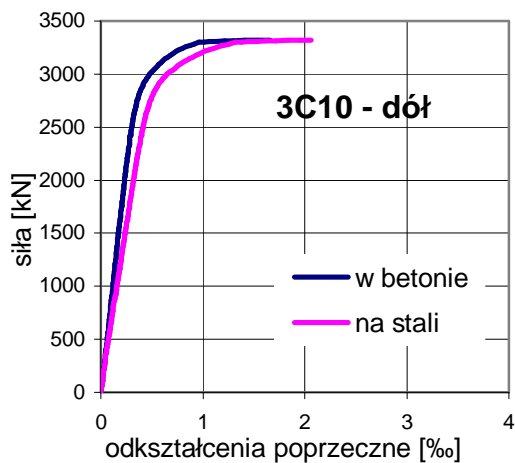
Rys. Z1.40. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.



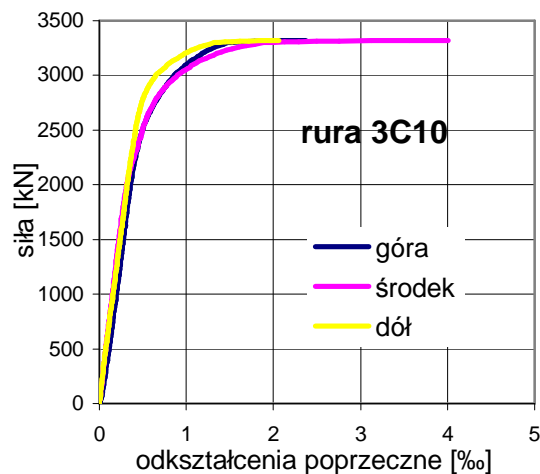
Rys. Z1.41. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 3C10.  $N_n=3320$  kN.



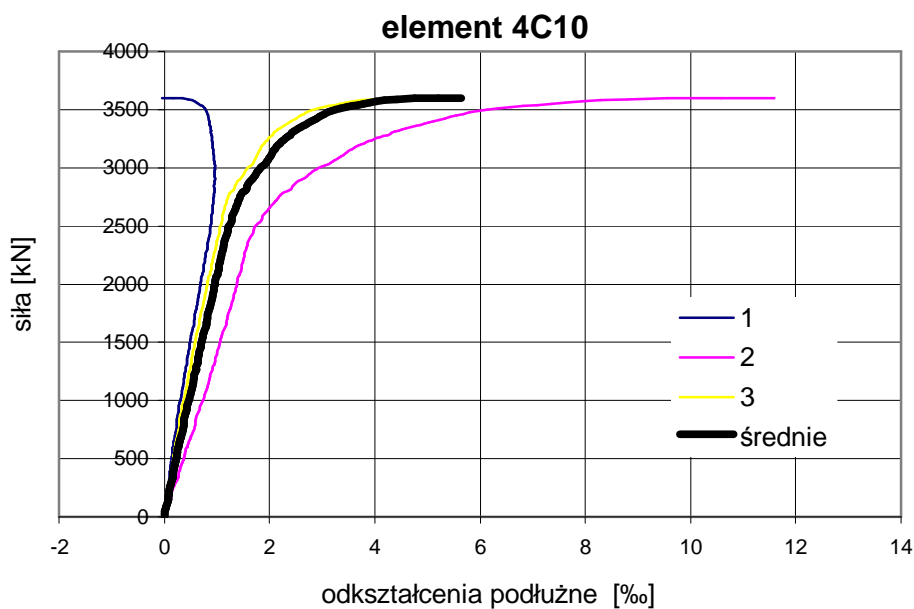
Rys. Z1.42. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 3C10.



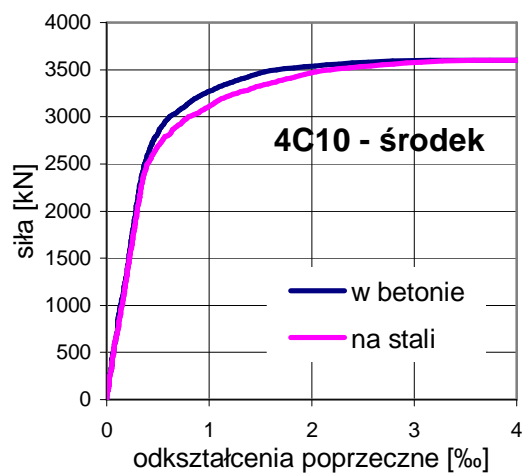
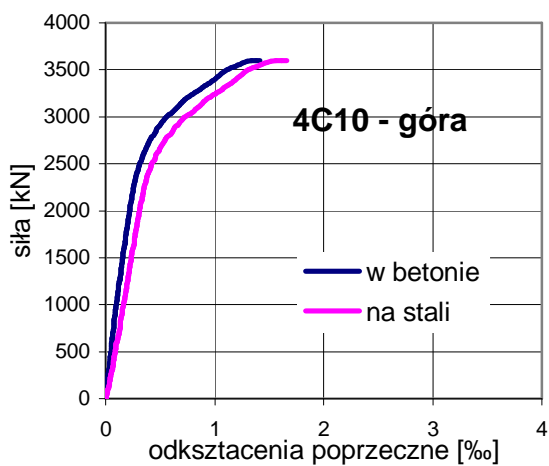
Rys. Z1.43. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 3C10.



Rys. Z1.44. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.

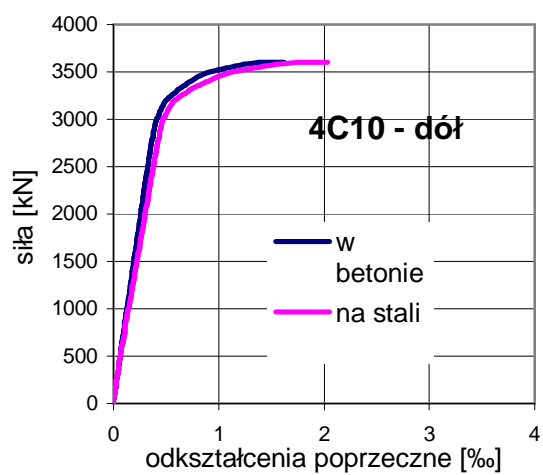


Rys. Z1.45. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 4C10.  $N_n=3600$  kN.

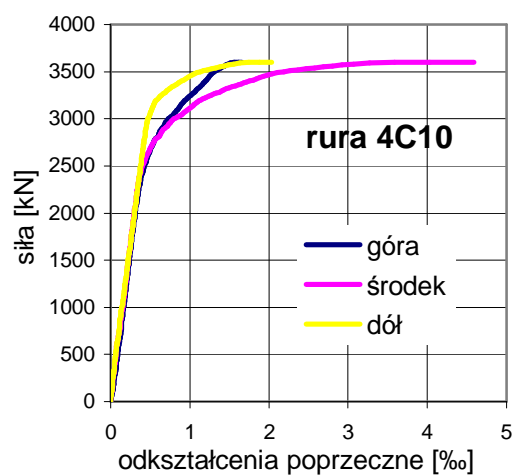


Rys. Z1.46. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 4C10.



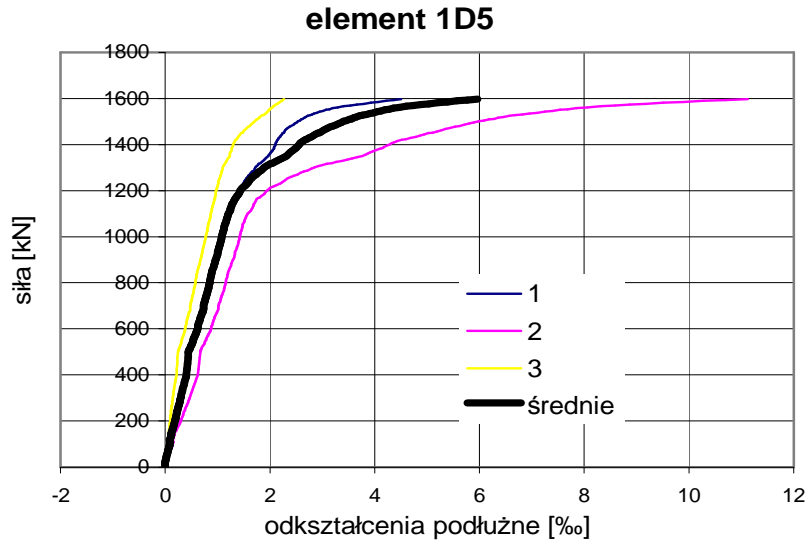


Rys. Z1.47. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 4C10.

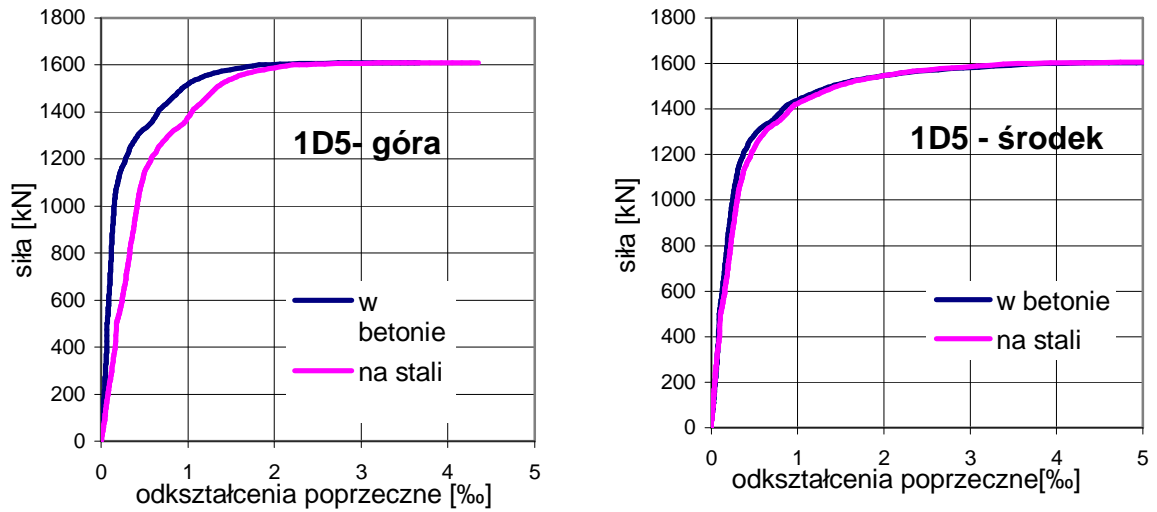


Rys. Z1.48. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.

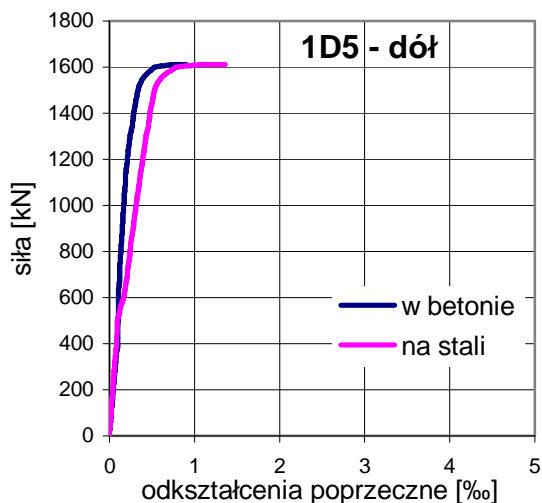
## Seria D



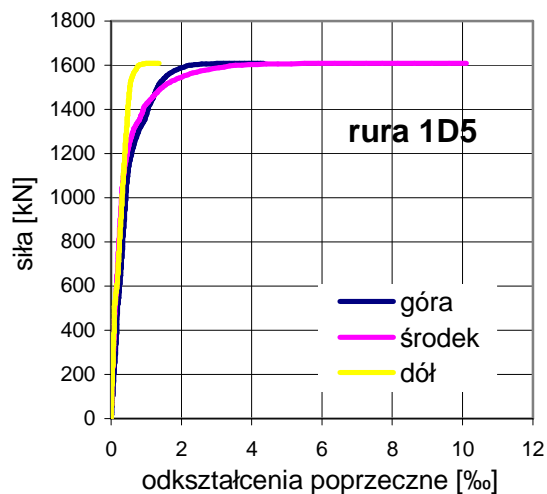
Rys. Z1.49. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 1D5.  $N_n=1610$  kN.



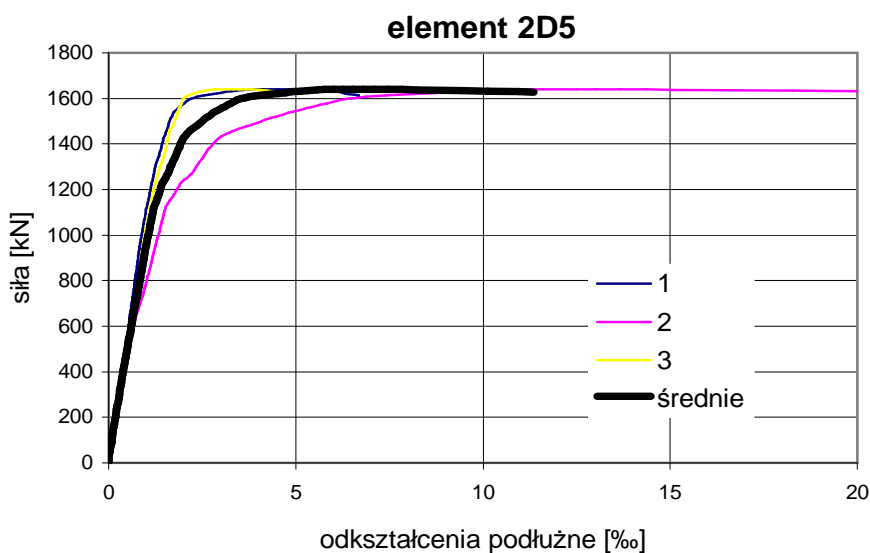
Rys. Z1.50. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 1D5.



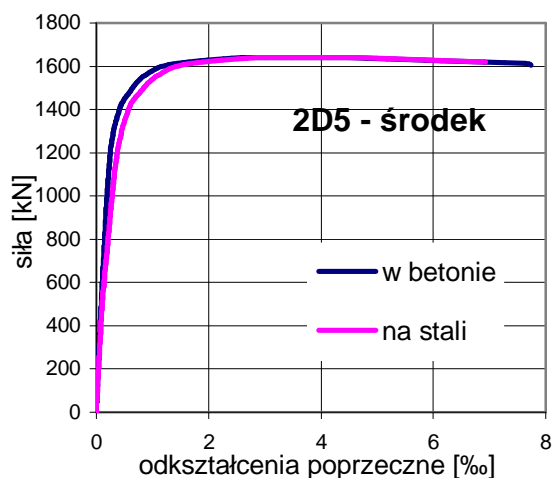
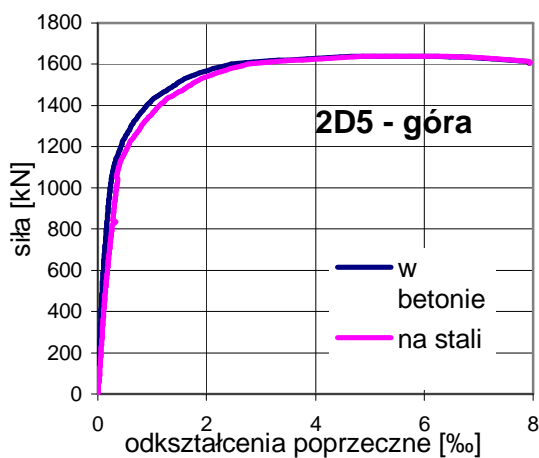
Rys. Z1.51. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 1D5.



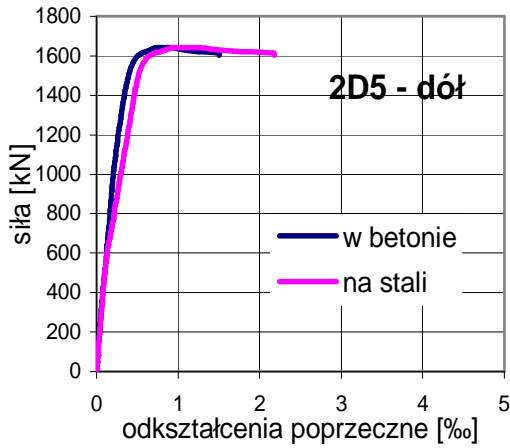
Rys. Z1.52. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.



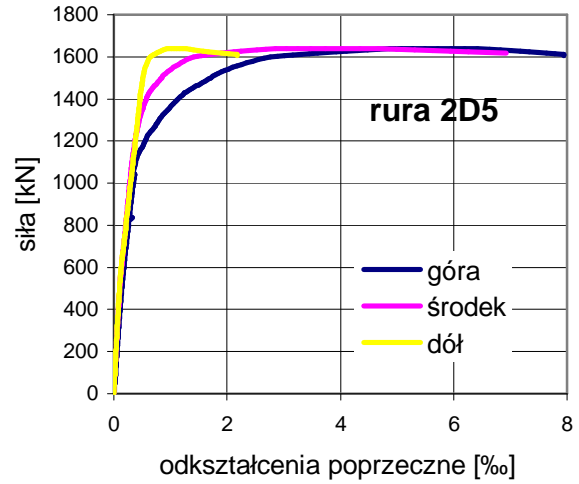
Rys. Z1.53. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 2D5.  $N_n=1640$  kN.



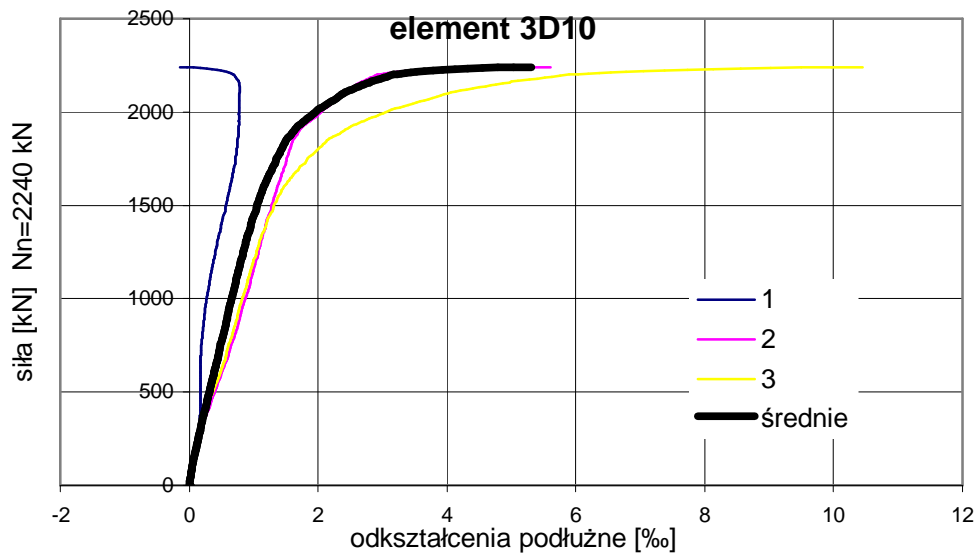
Rys. Z1.54. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 2D5.



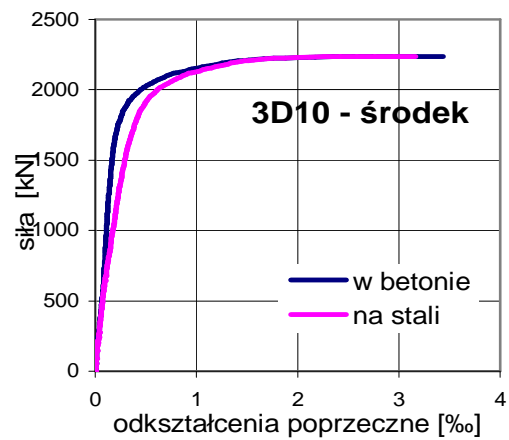
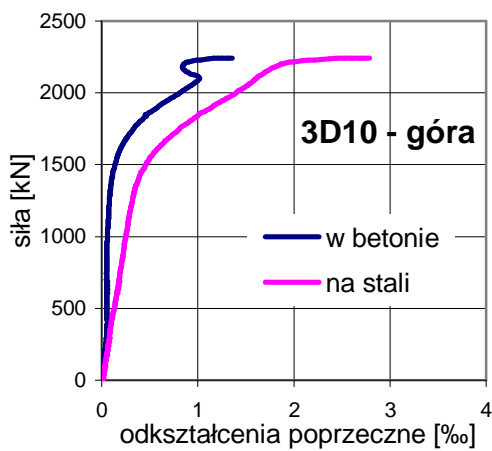
Rys. Z1.55. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 2D5.



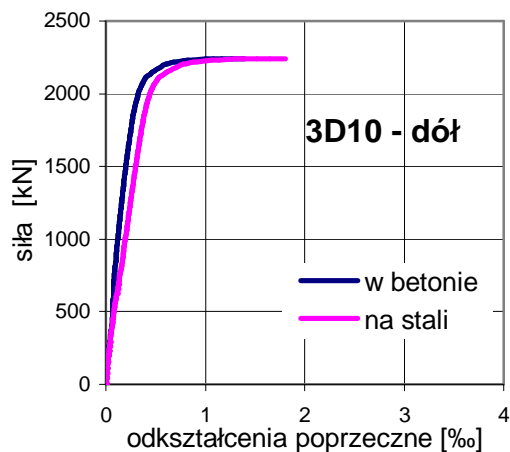
Rys. Z1.56. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



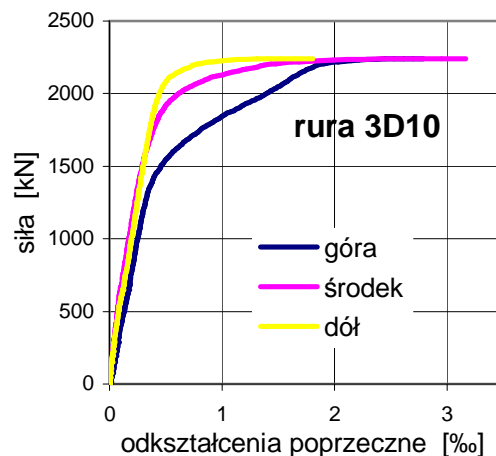
Rys. Z1.57. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 3D10.  $N_n=2240$  kN.



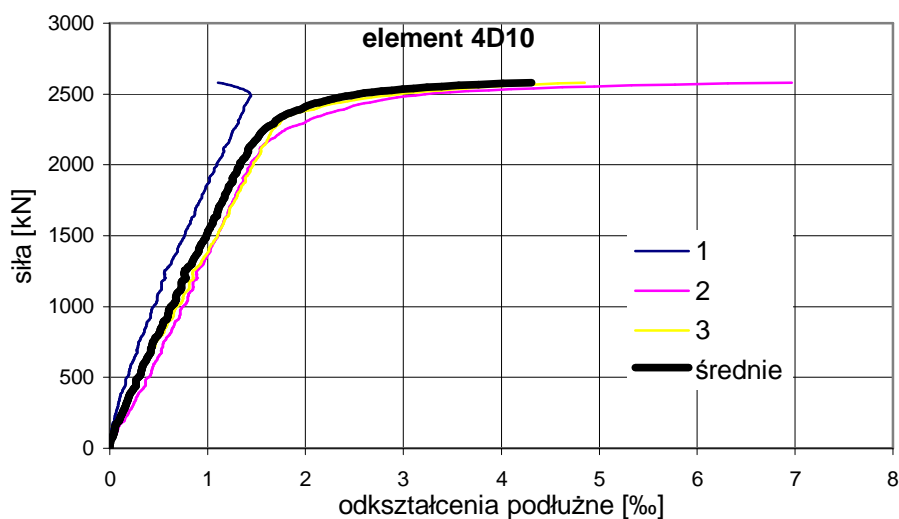
Rys. Z1.58. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 3D10.



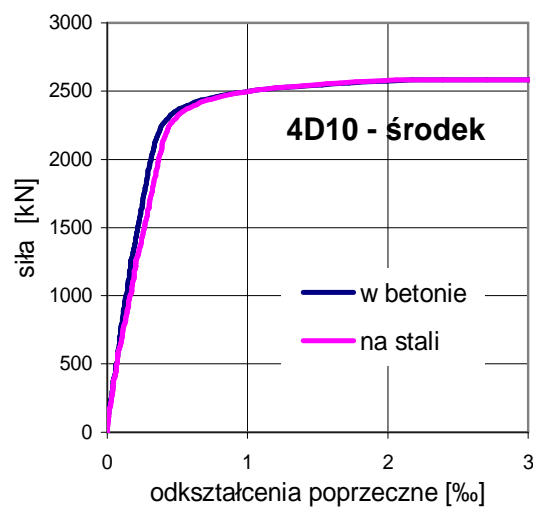
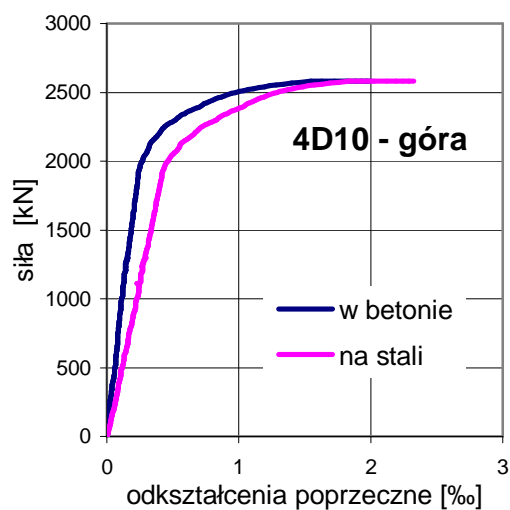
Rys. Z1.59. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 3D10.



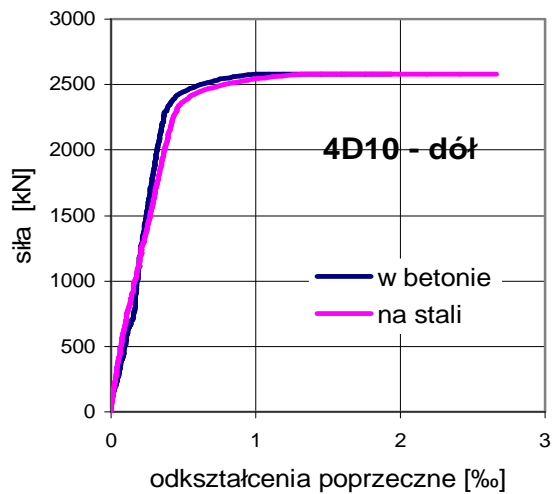
Rys. Z1.60. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



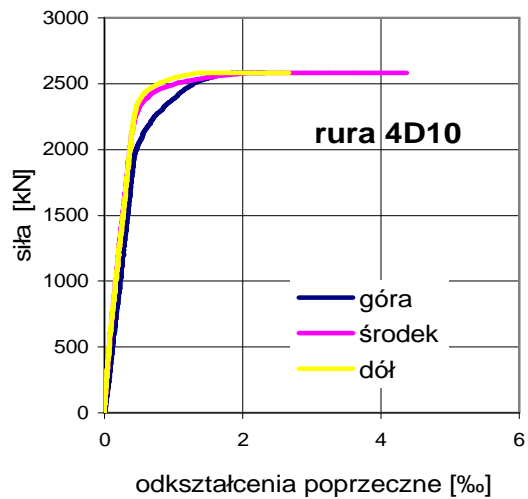
Rys. Z1.61. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 4D10.  $N_n=2580$  kN.



Rys. Z1.62. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 4D10.

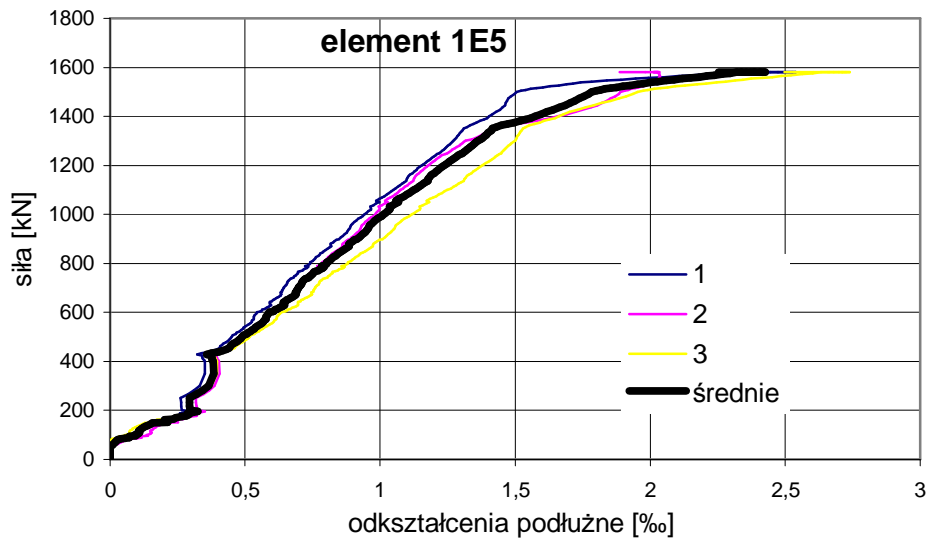


Rys. Z1.63. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 4D10.

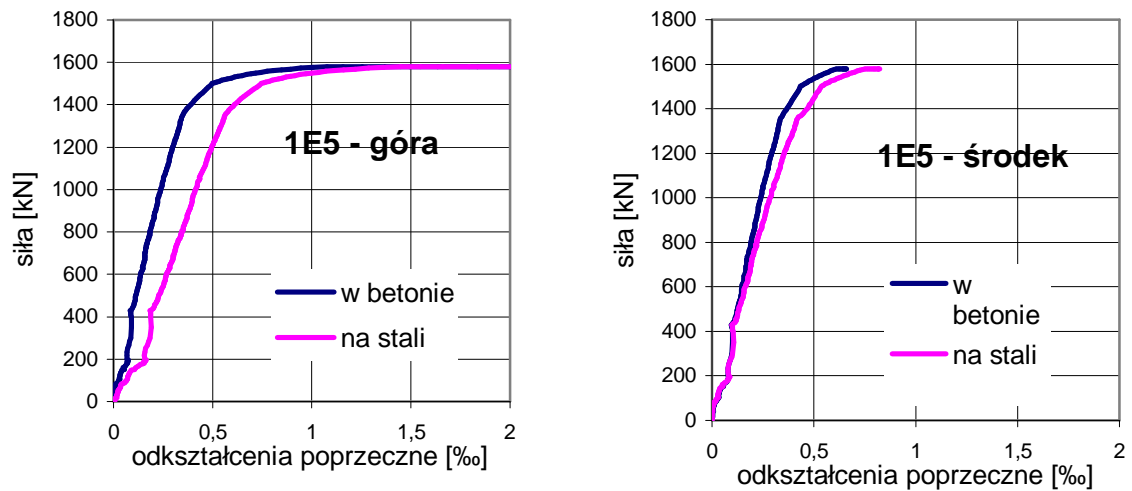


Rys. Z1.64. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.

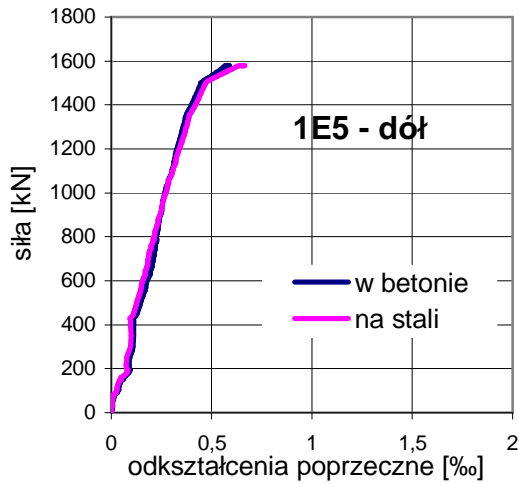
## Seria E



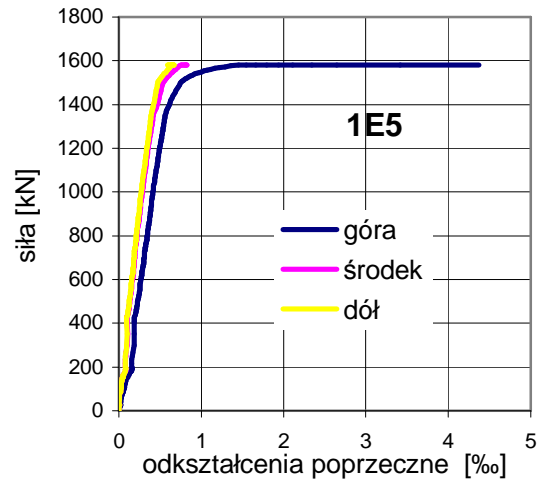
Rys. Z1.65. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 1E5.  $N_n=1580$  kN.



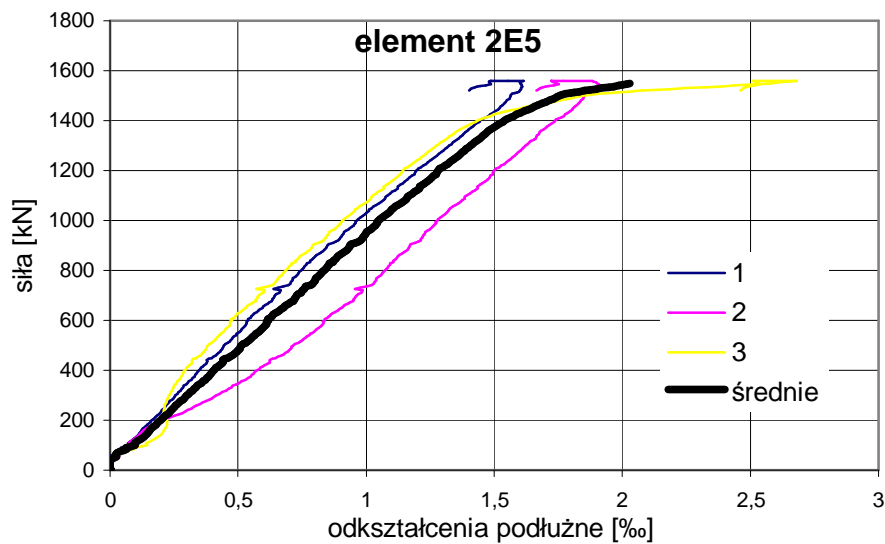
Rys. Z1.66. Odkształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 1E5.



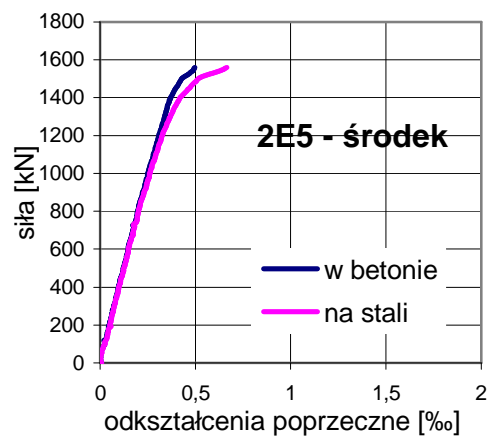
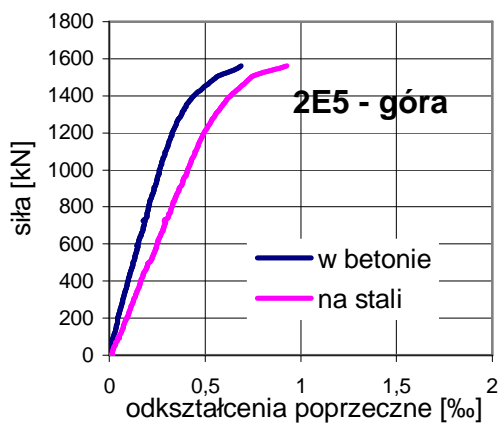
Rys. Z1.67. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 1E5.



Rys. Z1.68. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.

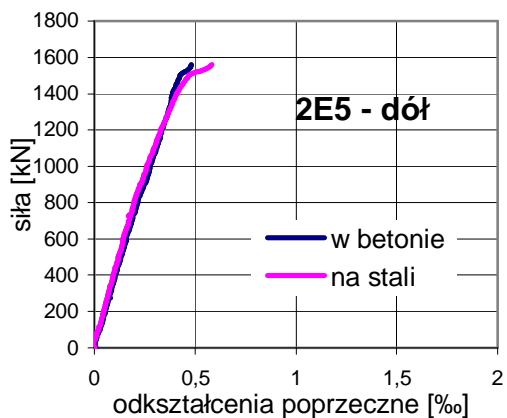


Rys. Z1.69. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 2E5.  $N_n=1560$  kN.

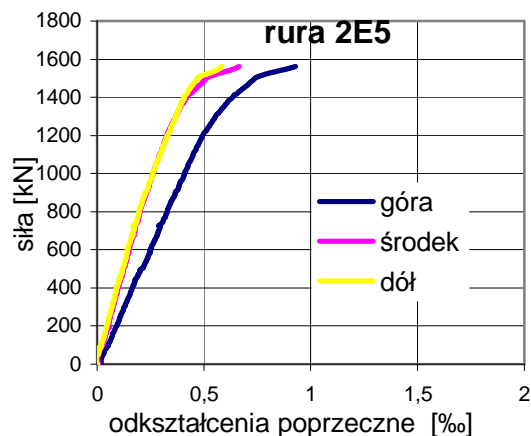


Rys. Z1.70. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 2E5.

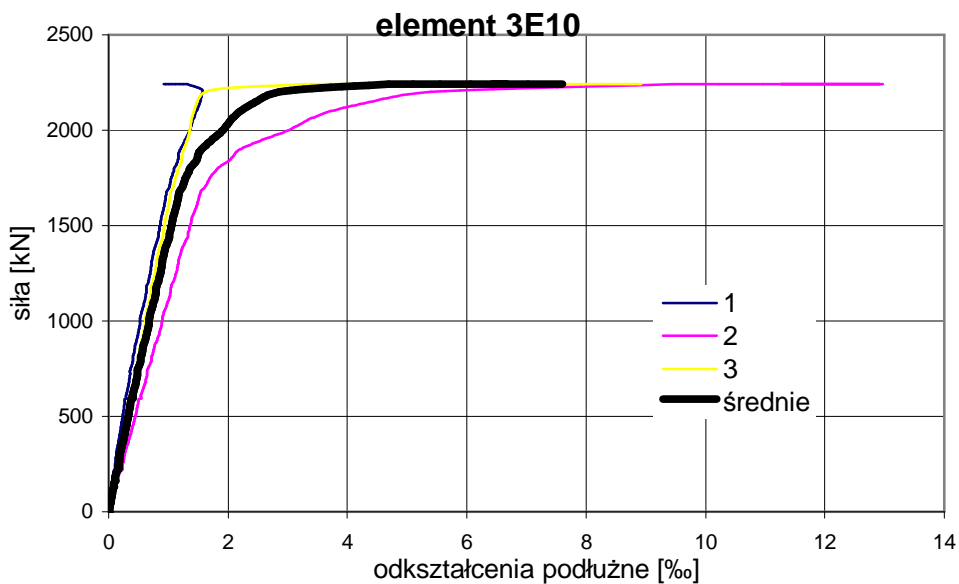




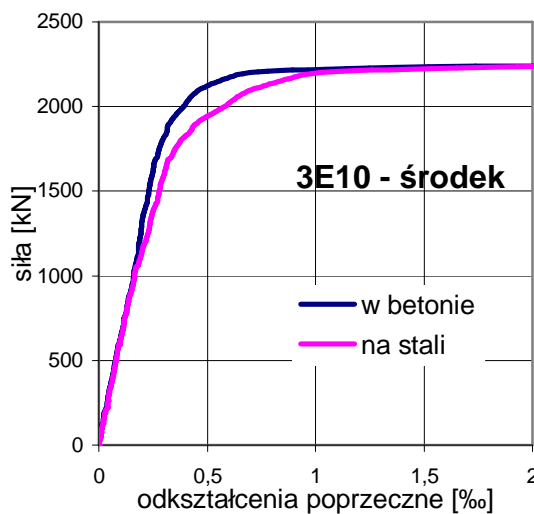
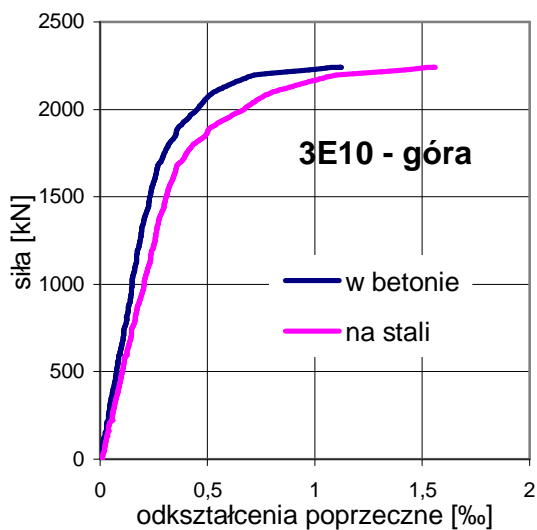
Rys. Z1.71. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 2E5.



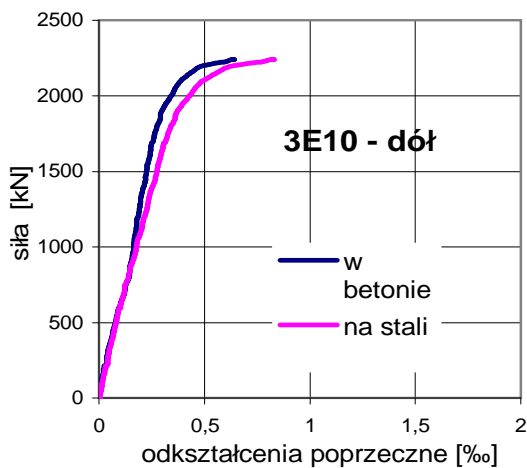
Rys. Z1.72. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



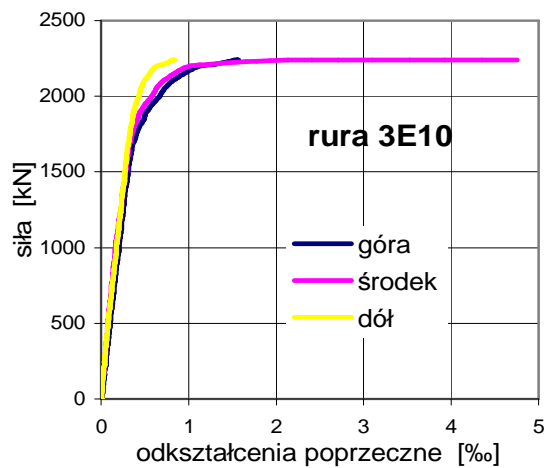
Rys. Z1.73. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 3E10.  $N_n=2240$  kN.



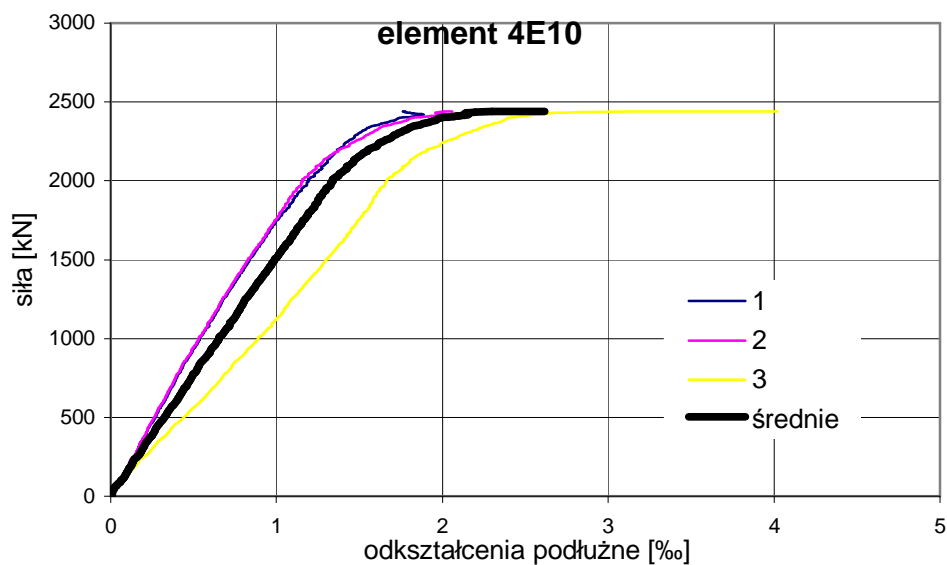
Rys. Z1.74. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 3E10.



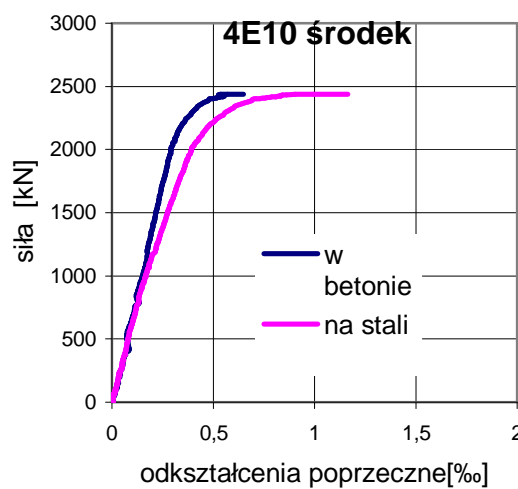
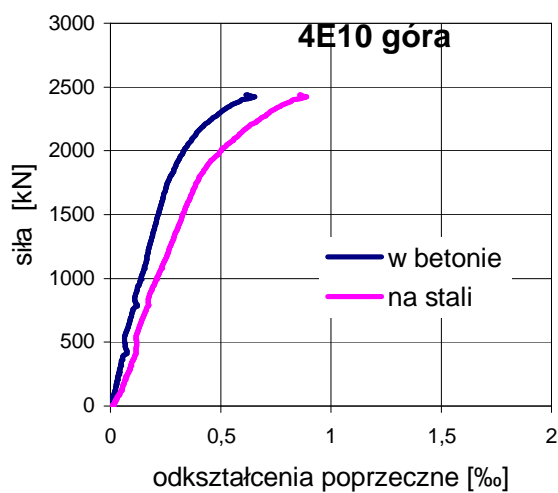
Rys. Z1.75. Odształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 3E10.



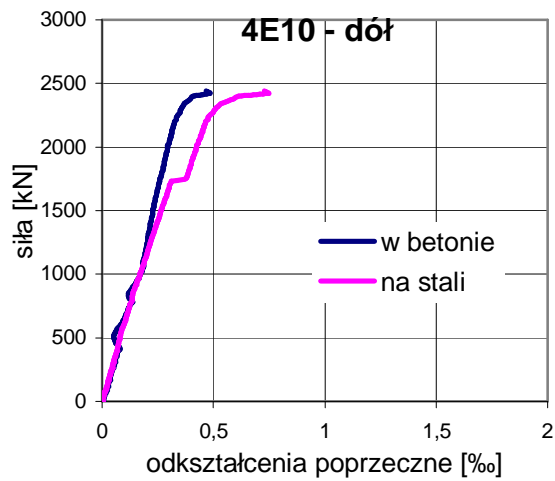
Rys. Z1.76. Odształcenia poprzeczne rury stalowej.



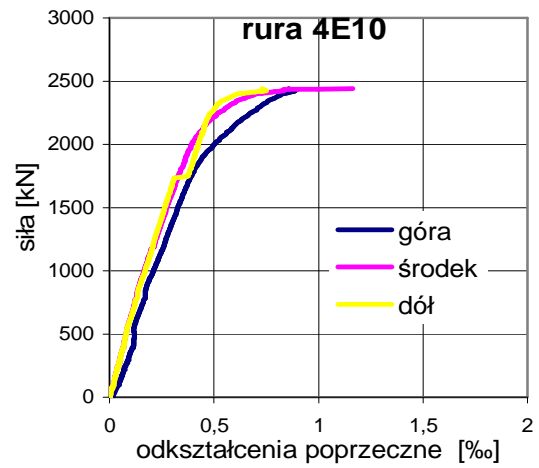
Rys. Z1.77. Zależność między odkształceniami podłużnymi i siłą ściskającą element 4E10.  $N_n=2440$  kN.



Rys. Z1.78. Odształcenia poprzeczne na poziomie górnym i środkowym w elemencie 4E10.



Rys. Z1.79. Odkształcenia poprzeczne na poziomie dolnym w elemencie 4E10.



Rys. Z1.80. Odkształcenia poprzeczne rury stalowej.

**Moduł sprężystości betonu serii A z pomiarów tensometrem nasadowym  $E_{cm}=18,9$  GPa**

Moduł sprężystości  $E_c$  [GPa] na założonym poziomie siły :

Moduł sprężystości  $E_{cm}$  [GPa] na rzeczywistym poziomie siły :

**Próbka nr 1  $P_z=640$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	128	96	24	28	24	24	25	19,94
0,3	192	160	41	47	43	38	42,25	19,66
0,4	256	224	58	65	62	55	60	19,38
0,5	320	288	76	83	80	74	78,25	19,11
0,6	384	352	96	104	98	95	98,25	18,60

$0,05 \cdot P = 32$  kN

**Pn=690 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	138	103,5	<b>17,77</b>
0,3	207	172,5	<b>17,55</b>
0,4	276	241,5	<b>17,55</b>
0,5	345	310,5	<b>16,96</b>
0,6	414	379,5	<b>16,87</b>

$0,05 P_n = 29,7$  kN

**Próbka nr 2  $P_z=640$  kN**

P/640	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	128	96	25	23	25	21	23,5	21,21
0,3	192	160	40	40	42	38	40	20,77
0,4	256	224	61	57	61	52	57,75	20,14
0,5	320	288	78	77	80	70	76,25	19,61
0,6	384	352	98	97	101	89	96,25	18,99

$0,05 \cdot P = 32$  kN

**Pn=768 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	153,6	115,2	<b>18,78</b>
0,3	230,4	192	<b>18,72</b>
0,4	307,2	268,8	<b>18,70</b>
0,5	384	345,6	<b>18,15</b>
0,6	460,8	422,4	<b>17,60</b>

$0,05 P_n = 38,4$  kN

**Próbka nr 3A  $P_z=680$  kN**

P/680	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	136	102	14	32	24	22	23	23,03
0,3	204	170	32	50	43	39	41	21,53
0,4	272	238	48	75	56	55	58,5	21,12
0,5	340	306	65	95	77	71	77	20,63
0,6	408	374	85	111	99	88	95,75	20,28

$0,05 \cdot P = 34$  kN

**Pn=748 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	149,6	112,2	<b>21,62</b>
0,3	224,4	187	<b>20,65</b>
0,4	299,2	261,8	<b>20,15</b>
0,5	374	336,6	<b>19,88</b>
0,6	448,8	411,4	<b>18,79</b>

$0,05 \cdot P = 37,4$

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P / F}{\Delta O \cdot k}$$

$k$  - stała tensometru,  $F$  - powierzchnia przekroju próbki,

$$k = 1,09 \cdot 10^{-5} \quad F = 0,01767 \text{ m}^2$$

$\Delta O$  - odczyt średni

$\Delta P = P - 0,05 P_n$  (lub  $P_z$ )

$P_z$  - założona siła niszcząca

$P_n$  - rzeczywista siła niszcząca



**Moduł sprężystości betonu serii B z pomiarów tensometrem nasadowym  $E_{cm}=34,6$  GPa**

Moduł sprężystości  $E_c$  [GPa] na założonym poziomie siły :

Moduł sprężystości  $E_{cm}$  [GPa] na rzeczywistym poziomie siły :

**Próbka nr 1  $P_z=800$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$ [GPa]
0,2	160	120	25	10	30	7	18	34,61
0,3	240	200	39	22	45	15	30,25	34,33
0,4	320	280	56	33	65	23	44,25	32,85
0,5	400	360	69	50	73	36	57	32,79
0,6	480	440	85	62	99	48	73,5	31,08

0,05\*P=40 kN

**Pn=680 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	136	102	<b>37,66</b>
0,3	204	170	<b>36,29</b>
0,4	272	238	<b>34,87</b>
0,5	340	306	<b>35,72</b>
0,6	408	374	<b>33,73</b>

0,05\*P=34 kN

**Próbka nr 2  $P_z=740$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$ [GPa]
0,2	148	116	10	18	29	14	17,5	32,93
0,3	222	190	16	31	44	25	29	33,12
0,4	296	264	26	44	61	37	42	32,02
0,5	370	338	38	61	77	51	56,75	30,47
0,6	444	412	53	77	93	73	74	28,56

0,05\*P=37 kN

**Pn=615 kN**

P/615	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	123	92,25	<b>34,32</b>
0,3	184,5	153,75	<b>35,04</b>
0,4	246	215,25	<b>33,29</b>
0,5	307,5	276,75	<b>33,49</b>
0,6	369	338,25	<b>33,16</b>

0,05\*P=30,75 kN

**Próbka nr 3  $P_z=700$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$ [GPa]
0,2	140	105	20	14	13	12	14,75	36,96
0,3	210	175	31	24	25	21	25,25	35,98
0,4	280	245	43	38	37	33	37,75	33,70
0,5	350	315	55	46	50	45	49	33,38
0,6	420	385	68	58	64	56	61,5	32,50

0,05\*P=35 kN

**Pn=700 kN**

$E_{cm}$ [GPa]
<b>36,96</b>
<b>35,98</b>
<b>33,70</b>
<b>33,38</b>
<b>32,50</b>

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P / F}{\Delta O \cdot k}$$

k - stała tensometru,  $k = 1,09 \cdot 10^{-5}$   
 F - powierzchnia przekroju próbki,  $F = 0,01767 \text{ m}^2$

$\Delta O$  - odczyt średni

Pz - założona siła niszcząca

Pn - rzeczywista siła niszcząca

$\Delta P = P - 0,05 P_n$  (lub  $P_z$ )



**Moduł sprężystości betonu serii C z pomiarów tensometrem nasadowym  $E_{cm}=43,3$  GPa**

Moduł sprężystości  $E_c$  [GPa] na założonym poziomie siły :

Moduł sprężystości  $E_{cm}$  [GPa] na rzeczywistym poziomie siły :

**Próbka nr 1  $P_z=1400$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	280	210	19	32	18	31	25	44,43
0,3	420	350	35	54	39	50	44,5	41,60
0,4	560	490	54	73	56	70	63,25	40,97
0,5	700	630	70	97	74	89	82,5	40,39
0,6	840	770	93	113	95	110	102,75	39,64

$0,05 \cdot P = 70$  kN

**$P_n=1120$  kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	224	168	<b>48,16</b>
0,3	336	280	<b>44,27</b>
0,4	448	392	<b>43,88</b>
0,5	560	504	<b>42,05</b>
0,6	672	616	<b>42,67</b>

$0,05 \cdot P = 56$

**Próbka nr 2  $P_z=1200$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	240	180	33	9	28	20	22,5	42,31
0,3	360	300	52	21	48	34	38,75	40,95
0,4	480	420	70	36	61	52	54,75	40,57
0,5	600	540	84	56	75	71	71,5	39,95
0,6	720	660	107	74	90	87	89,5	39,00

$0,05 \cdot P = 60$  kN

**$P_n=960$  kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	192	144	<b>48,20</b>
0,3	288	240	<b>44,38</b>
0,4	384	336	<b>42,01</b>
0,5	480	432	<b>41,17</b>
0,6	576	528	<b>41,56</b>

$0,05 \cdot P = 48$

**Próbka nr 3  $P_z=1200$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	240	180	24	21	22	21	22	43,27
0,3	360	300	39	37	38	34	37	42,88
0,4	480	420	58	50	56	47	52,75	42,11
0,5	600	540	74	68	73	61	69	41,39
0,6	720	660	93	86	91	76	86,5	40,36

$0,05 \cdot P = 60$  kN

**$P_n=1080$  kN**

P/1080	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	216	162	<b>45,28</b>
0,3	324	270	<b>44,80</b>
0,4	432	378	<b>43,84</b>
0,5	540	486	<b>42,54</b>
0,6	648	594	<b>41,65</b>

$0,05 \cdot P = 54$

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P / F}{\Delta O \cdot k}$$

$k$  - stała tensometru,  $F$  - powierzchnia przekroju próbki,  
 $k = 1,07 \cdot 10^{-5}$   $F = 0,01767 m^2$

$\Delta O$  - odczyt średni

$\Delta P = P - 0,05 P_n$  (lub  $P_z$ )

$P_z$  - założona siła niszcząca

$P_n$  - rzeczywista siła niszcząca

**Moduł sprężystości betonu serii D z pomiarów tensometrem nasadowym  $E_{cm}=23,9$  GPa**

Moduł sprężystości  $E_c$  [GPa] na założonym poziomie siły :

Moduł sprężystości  $E_{cm}$  [GPa] na rzeczywistym poziomie siły :

**Próbka 1 Pz=600 kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	120	90	23	15	27	8	18,25	26,08
0,3	180	150	36	28	44	20	32	24,79
0,4	240	210	51	42	61	31	46,25	24,02
0,5	300	270	66	57	76	47	61,5	23,22
0,6	360	330	80	72	90	69	77,75	22,45

0,05Pz=30kN

**Pn=660 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	132	99	<b>24,99</b>
0,3	198	165	<b>23,70</b>
0,4	264	231	<b>22,86</b>
0,5	330	297	<b>22,09</b>
0,6	396	363	<b>21,50</b>

0,05Pn=33kN

**Próbka 2 Pz=600 kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$ [GPa]
0,2	120	90	22	15	26	9	18	26,45
0,3	180	150	37	31	39	20	31,75	24,99
0,4	240	210	51	43	56	33	45,75	24,28
0,5	300	270	66	60	70	46	60,5	23,60
0,6	360	330	83	73	83	63	75,5	23,12

0,05Pz=30kN

**Pn=630 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	126	94,5	<b>25,55</b>
0,3	189	157,5	<b>24,50</b>
0,4	252	220,5	<b>23,70</b>
0,5	315	283,5	<b>22,76</b>
0,6	378	346,5	<b>22,43</b>

0,05Pn=31,5kN

**Próbka 2 Pz=600 kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$ [GPa]
0,2	120	90	21	20	22	15	19,5	24,41
0,3	180	150	35	39	32	25	32,75	24,22
0,4	240	210	50	58	44	37	47,25	23,51
0,5	300	270	63	74	65	47	62,25	22,94
0,6	360	330	81	86	80	64	77,75	22,45

0,05Pz=30kN

**Pn=600 kN**

$E_{cm}$ [GPa]
<b>24,41</b>
<b>24,22</b>
<b>23,51</b>
<b>22,94</b>
<b>22,45</b>

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P / F}{\Delta O \cdot k}$$

$k$  - stała tensometru,  $F$ -powierzchnia przekroju próbki,  $\Delta O$ —odczyt średni,

$k = 1,07 \cdot 10^{-5}$   $F = 0,01767 m^2$

$\Delta P=P-0,05P$

Pz - założona siła niszcząca

Pn - rzeczywista siła niszcząca

**Moduł sprężystości betonu serii E z pomiarów tensometrem nasadowym  $E_{cm}=20,0$  GPa**

Moduł sprężystości  $E_c$  [GPa] na założonym poziomie siły :

Moduł sprężystości  $E_{cm}$  [GPa] na rzeczywistym poziomie siły :

**Próbka 1  $P_z=540$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	108	81	16	21	27	20	21	20,40
0,3	162	135	30	35	43	31	34,75	20,55
0,4	216	189	45	48	59	41	48,25	20,72
0,5	270	243	58	60	74	60	63	20,40
0,6	324	297						

0,05Pz=27kN

**Pn=594 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	118,8	89,1	<b>20,67</b>
0,3	178,2	148,5	<b>20,70</b>
0,4	237,6	207,9	<b>20,05</b>
0,5	297,0	267,3	<b>19,65</b>
0,6	356,4	326,7	

0,05Pn=29,7kN

**Próbka 2  $P_z=540$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				$\Delta O$	$E_c$
0,2	108	81	20	22	25	13	20	21,42
0,3	162	135	33	36	38	28	33,75	21,16
0,4	216	189	48	53	55	41	49,25	20,30
0,5	270	243	64	69	73	55	65,25	19,70
0,6	324	297	77	87	90	72	81,5	19,27

0,05Pz=27kN

**Pn=594 kN**

P/Pn	P	$\Delta P$	$E_{cm}$ [GPa]
0,2	118,8	89,1	<b>20,60</b>
0,3	178,2	148,5	<b>20,39</b>
0,4	237,6	207,9	<b>19,71</b>
0,5	297,0	267,3	<b>19,20</b>
0,6	356,4	326,7	<b>19,07</b>

0,05Pn=29,7kN

**Próbka 2  $P_z=540$  kN**

P/Pz	P	$\Delta P$	Odczyty odkształceń				O	$E_c$
0,2	108	81	15	29	30	6	20	21,42
0,3	162	135	27	40	49	22	34,5	20,70
0,4	216	189	42	58	62	35	49,25	20,30
0,5	270	243	57	76	78	52	65,75	19,55
0,6	324	297	72	90	94	63	79,75	19,70

0,05Pz=27kN

**Pn=540 kN**

$E_{cm}$ [GPa]
<b>21,42</b>
<b>20,70</b>
<b>20,30</b>
<b>19,55</b>
<b>19,70</b>

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P / F}{\Delta O \cdot k} \quad k - \text{stała tensometru, } F - \text{powierzchnia przekroju próbki,}$$

$$k = 1,07 \cdot 10^{-5} \quad F = 0,01767 \text{ m}^2$$

$\Delta O$  – odczyt średni  $\Delta P = P - 0,05P_n$  (lub  $P_z$ )  
 $P_z$  - założona siła niszcząca  
 $P_n$  - rzeczywista siła niszcząca



## **ZAŁĄCZNIK 2**

**Dokumentacja fotograficzna pracy**



## Betonowanie elementów badawczych:



Rys. Z2.1. Wypełnianie rur przy pomocy lejka.



Rys. Z2.2. Zbiornik z mieszanką betonową.



Rys. Z2.3. Wypełnianie rur mieszanką betonową.



Z2.4. Lejek wypełniony mieszanką betonową.



Z2.5. Rura wypełniona świeżym betonem.



Z2.6. Zestaw form przygotowanych do betonowania próbek.



## Zakładanie tensometrów pierścieniowych do wnętrza rur:



Rys. Z2.7. Tensometry pierścieniowe w serii A.



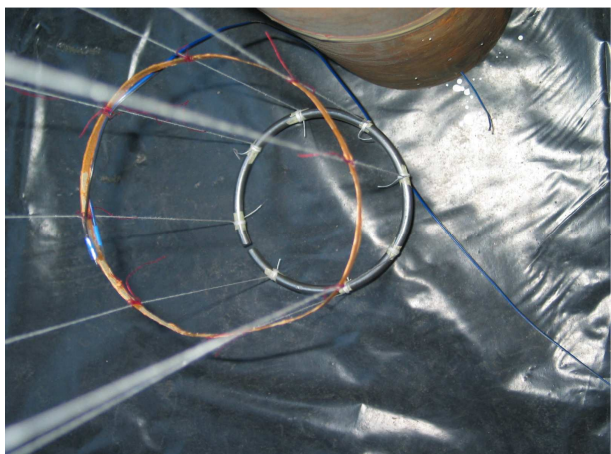
Rys. Z2.8 Tensometry pierścieniowe w serii C.



Rys. Z2.9. Zakładanie tensometrów w serii A.



Rys. Z2.10. Tensometry pierścieniowe, seria D.



Rys. Z2.11. Tensometry w serii A



Rys. Z2.12. Tensometry w seriach B, C, D, E



## Widok stanowiska badawczego:



Rys. Z2.13. Element 6A10 obciążany w prasie DB600.



Rys. Z2.14. Aparatura pomiarowa.

## Zniszczenie elementów badawczych:



Rys. Z2.15. Element 2A5.



Rys. Z2.16. Element 3A5.



Rys. Z2.17. Element 5A10



Rys. Z2.18. Element 1C5





Rys. Z2.19. Element 2B5.



Rys. Z2.20. Element 1D5.



Rys. Z2.21. Element 2E5.



Rys. Z2.22. Pofalowana górną część rury.





Rys. Z2.23. Element 4B10.



Rys. Z2.24. Element 4D10.



Rys. Z2.25. Element 2E5.



Rys. Z2.26. Zniszczona seria A.

## Badanie wytrzymałości stali:



Rys. Z2.27. Rozciąganie próbek w maszynie wytrzymałościowej.



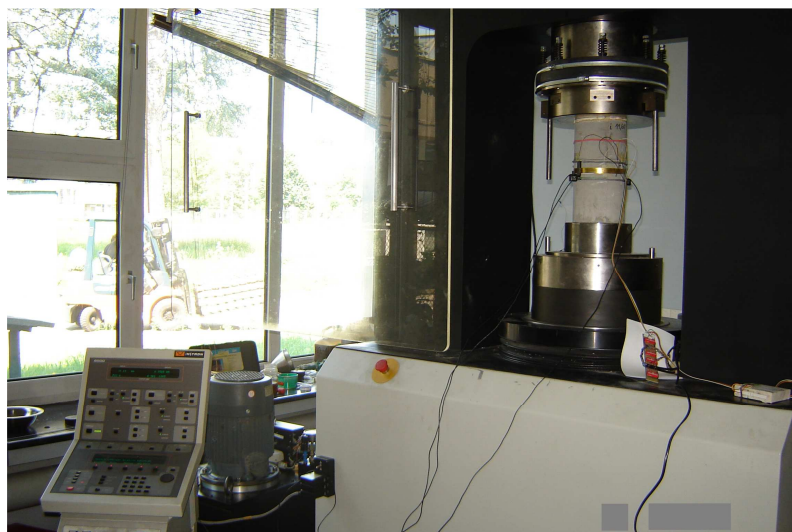
Rys. Z2.28. Próbki ze stali R35.



Rys. Z2.29. Próbki ze stali R45.



## Badanie modułu sprężystości betonu:



Rys. Z2.30. Badanie modułu sprężystości próbki w maszynie elektronicznej „Instron”.



Rys. Z2.31. Próbkii serii A po zbadaniu modułu sprężystości tensometrem nasadowym.



Rys. Z2.32. Próbkii serii B po zbadaniu modułu sprężystości tensometrem nasadowym.

## Pomiary skurczu betonu:



Rys. Z2.33. Pomiary skurczu betonu, serie C, D, E.

## Porównanie wskazań maszyn wytrzymałościowych:



Rys. Z2.34. Cechowanie prasy EDU 400 przy pomocy dynamometru.

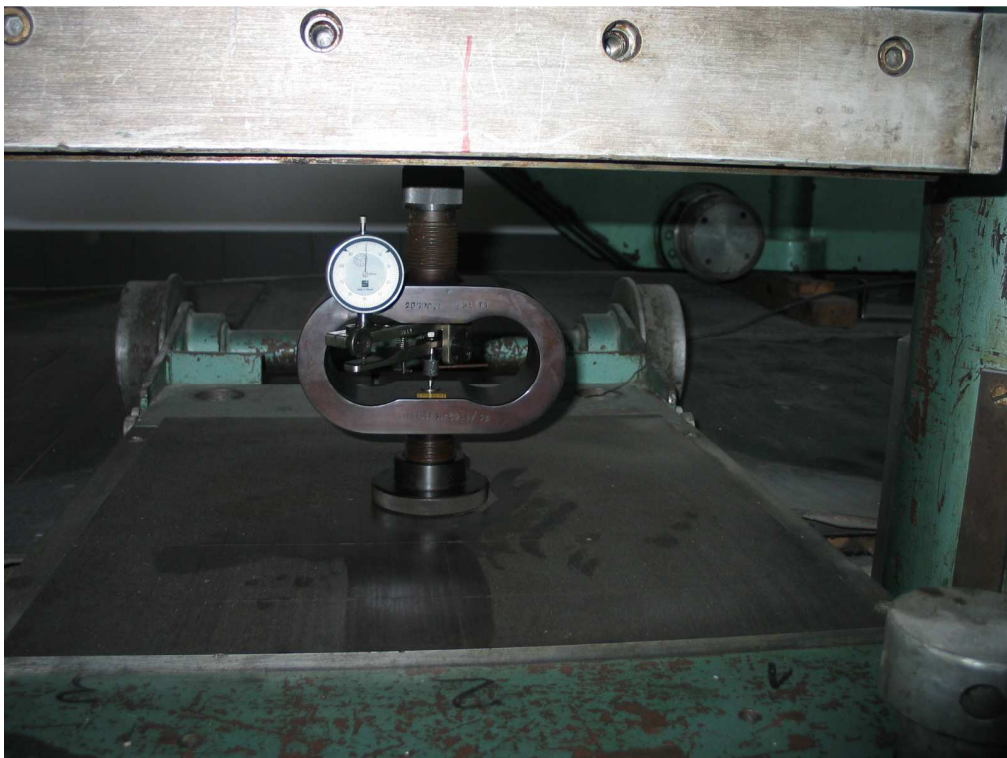


Rys. Z2.35. Cechowanie prasy elektronicznej „Instron”





Rys. Z2.36. Cechowanie prasy DB300.



Rys. Z2.37. Cechowanie prasy DB600.