



## Wstęp do współczesnej inżynierii

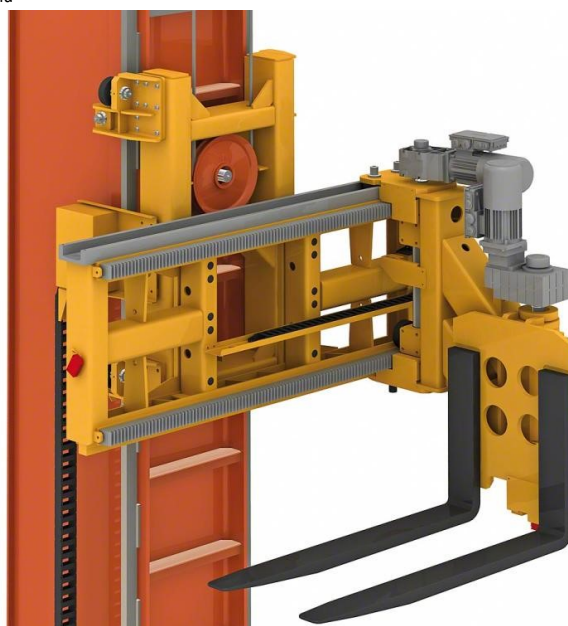


w5



## Wstęp do współczesnej inżynierii

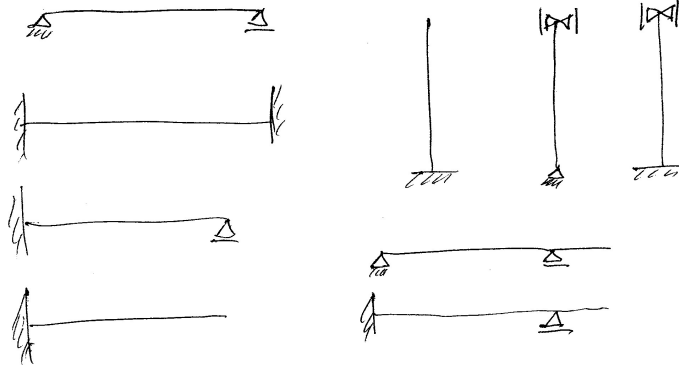
Skąd się biorą opory ruchu



Źródło: Mecalux



## Wstęp do współczesnej inżynierii



Przykłady schematów belek i słupów



Pręty pracujące głównie na zginanie nazywane są belkami. Słupy są podporami pionowymi



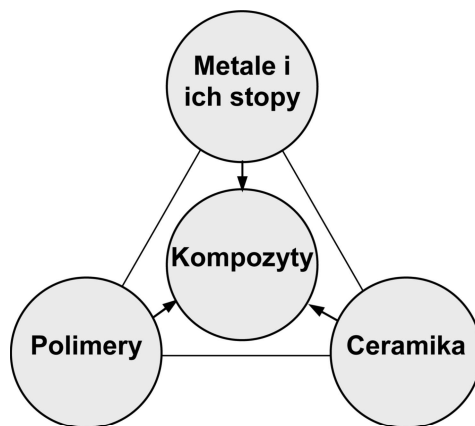
## Wstęp do współczesnej inżynierii



Źródło: <http://www.voytehpolska.com>



## Wstęp do współczesnej inżynierii



Klasyfikacja materiałów inżynierskich



Źródło: Materiały konstrukcyjne. M. Burzyńska Szyszko



## Wstęp do współczesnej inżynierii

Gęstości wybranych materiałów

Materiał	Gęstość [Mg/m <sup>3</sup> ]
Węglik wolframu	14 – 17
Molibden i jego stopy	10 – 13,7
Miedź	8,9
Żelazo	7,9
Stal	7,5 – 7,8
Tytan	4,5
Tlenek aluminium	3,9
Aluminium	2,7
Szkło kwarcowe	2,6
Włókna węglowe	2,2
Grafit	1,8
Polistyren	1 – 1,1
Drewno	0,4 – 0,8
Pianki poliuretanowe	0,06 – 0,2



Źródło: Materiały konstrukcyjne. M. Burzyńska Szyszko



## Wstęp do współczesnej inżynierii

Modułu sprężystości (moduł Younga) wybranych materiałów

Materiał	Moduł Younga [GPa]
Diament	1100
Węgiel wolframu	450 – 650
Tlenek aluminium	390
Molibden i jego stopy	320 – 365
Żelazo	196
Stal	190 – 210
Miedź	125
Tytan	116
Aluminium	70
Drewno dębowe (wzdłuż włókien)	11
Grafit	27
Polistyren	3 – 3,4
Żywice epoksydowe	3
Gumy	0,01 – 0,1
Pianki poliuretanowe	0,001 – 0,01

Źródło: Materiały konstrukcyjne. M. Burzyńska Szyszko



E – moduł sprężystości przy rozciąganiu

prawo Hooke'a

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}$$



## Wstęp do współczesnej inżynierii

Własności wytrzymałościowe niektórych gatunków stali oraz naprężenia dopuszczalne

Materiał	Znak stali starynowy	Stan obróbki cieplnej	R <sub>m</sub> min. MPa	R <sub>e</sub> min. MPa	Naprężenia dopuszczalne w MPa								
					k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
Stal niesposoba konstrukcyjna przeznaczona do przemieszczenia PN-EN 10225:2006 (L)	S10S/S185		320	185	100	55	30	120	65	40	65	44	23
	S15S/S235JK		380	235	120	65	30	145	75	50	75	50	27
	S20S/S275		440	275	130	70	40	155	85	55	85	60	30
	S15E205		490	205	145	80	45	170	95	60	90	65	35
	S16E335		500	335	160	85	50	185	105	70	105	75	40
	S17E360		590	365	175	110	60	210	130	85	115	85	45
	10/C10E		335	205	105	55	30	125	70	45	65	45	24
	15/C15E		375	225	115	60	35	140	75	50	75	50	27
	20/C20E		410	245	125	70	40	150	85	55	80	60	30
	25/C25		450	275	140	80	45	170	90	60	90	65	33
Stal niealiovana do użytkowania powszechnego PN-EN 10025-2:1993	35/C35		530	315	155	85	50	185	100	65	100	70	38
	45/C45		600	355	170	95	55	205	115	75	110	80	40
	65/C65		660	380	185	105	60	225	125	80	120	85	45
	10/C10E	H <sub>11</sub>	410	245	125	70	40	150	85	55	80	60	30
	15C	H	480	295	150	85	45	180	100	65	95	70	35
	20/C20E	H	540	355	180	95	50	210	110	70	115	75	40
	25/C25	T <sub>2</sub>	600	370	190	100	55	230	120	80	125	90	45
	35/C35	T	680	380	195	105	55	245	125	85	130	95	45
	45/C45	T	760	420	225	120	60	270	140	90	145	95	50
	65/C65	T	850	450	250	130	65	300	150	100	160	110	55
Stal stopowa konstrukcyjna do maszyn PN-EN 10084:2002	15H-17Cr3	H	690	490	250	130	65	300	140	90	100	95	50
	20H-20Cr4	H	780	640	325	135	75	350	160	105	110	110	55
	20H3-20MnCr2	H	1080	740	375	185	105	450	220	140	240	150	80
Stal stopowa konstrukcyjna do użycia w osiowym i powierzchniowym PN-EN 10035-1:2006 (L)	15HCr1-20NiCrMo2.2	H	930	780	400	180	90	480	190	120	255	130	70
	30Cr2-28Mn2	N	850	390	190	105	60	230	125	80	120	85	45
	45Cr2-44MnCr9	N	740	480	235	120	65	280	140	90	150	95	50
	30Cr2-28Mn7	T	790	540	260	130	70	315	150	95	170	105	5
	45Cr2-44Mn29	T	880	690	335	145	80	400	170	110	215	115	60
	30H-34Cr4	I	880	740	355	145	80	430	170	110	230	115	60
	40H-41Cr4	T	880	780	380	160	90	455	180	120	245	130	65
	50H-	T	1080	930	450	175	100	545	210	135	290	145	75
	40HCr1-22CrMo4	T	1030	880	430	185	95	515	200	130	275	135	70
	95HCr1	T	1620	1280	620	285	145	745	310	200	305	215	110

$$k_c = k_p; k_{cT} = k_T; k_T \approx k_s; k_{Tj} \approx k_{Tj}; k_{Tj} \approx k_{Tj}; k_{Tj} \approx k_{Tj}$$

- H - nawęglanie i hartowanie
- T - ucieplenie cieplne (hartowanie i wysokie odpuszczenie)
- N - normalizowane
- Stale do wytworzenia nitów; ich własności wytrzymałościowe są w przybliżeniu takie same jak własności odpowiednich stali niesposobych konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia wg PN-EN 10025:2002
- Wartości nacisków dopuszczalnych ko przyjmuje się wg odrębnych tablic. W pozostałych elementach maszyn  $k_p = 0,8k_T; k_{cT} = k_T; k_{Tj} = 0,4k_{Tj}$





## Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy

### Materiały konstrukcyjne

pod względem kształtu wyróżnia się:

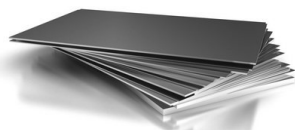
- blachy
- pręty
- kątowniki
- płaskowniki
- ceowniki
- teowniki, dwuteowniki
- rury prostokątne, kwadratowe oraz okrągłe
- profile modułowe
- profile specjalne



## Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy

blachy



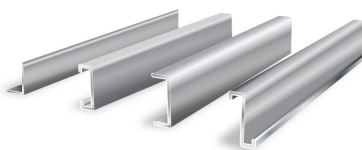
Arkusze: 1000x2000; 1250 x2500;  
1500x3000; 1500x6000; 2000x6000;  
2150-12000  
kregi

rury



4000-20000

kształtowniki



4000-12000

Profile zamknięte



6000-12000





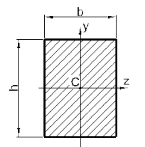
## Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy  
Momenty bezwładności przekrojów

Wytrzymałość elementu zależy od wielkości kształtu pola przekroju poprzecznego. Wielkości geometryczne, które charakteryzują przekrój pod względem wytrzymałościowym to m. in.:

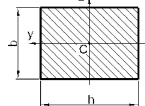
- pole przekroju (F) [mm<sup>2</sup>],
  - moment bezwładności przekroju (I<sub>z<sub>c</sub></sub>) [mm<sup>4</sup>]
  - promień bezwładności i [mm]
- $$i = \sqrt{\frac{I_{z_c}}{F}}$$

- wskaźnik na zginanie W [mm<sup>3</sup>]



$$I_{z_c} = bh^3/12$$

$$W_z = \frac{I_{z_c}}{h/2}$$



$$I_{z_c} = hb^3/12$$

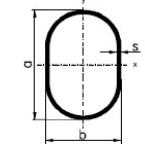
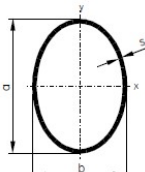
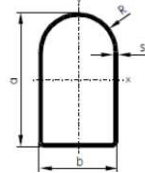
Przekrój	Moment bezwładności	Wskaźnik wytrzymałości na zginanie
	$I_{z_c} = bh^3/12$	$W_z = bh^2/6$
	$I_{z_c} = bh^3/36$	$W_z = bh^2/24$
	$I_{z_c} = \pi d^4/64$	$W_z = \pi d^3/32$
	$I_{z_c} = \pi(D^4 - d^4)/64$	$W_z = \pi(D^4 - d^4)/32D$
	$I_{z_c} = (BH^3 - bh^3)/12$	$W_z = (BH^3 - bh^3)/6H$

Źródło: zwcad.pl



## Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy  
Profile stalowe gięte zamknięte



d	s	M	A	A <sub>o</sub>	I <sub>z<sub>c</sub></sub>	I <sub>y<sub>c</sub></sub>	W <sub>z</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>o</sub></sub>	W <sub>y<sub>o</sub></sub>	i <sub>z</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>c</sub></sub>	W <sub>y<sub>c</sub></sub>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
21,3	1,5	0,73	0,93	0,067	0,46	0,43	0,59	0,70	0,92	0,86	0,70	0,92	0,86	0,86
21,3	1,8	0,87	1,10	0,067	0,53	0,50	0,69	0,69	1,06	0,99	0,69	0,69	1,06	0,99
21,3	2,0	0,95	1,21	0,067	0,57	0,54	0,75	0,69	1,14	1,07	0,69	0,69	1,14	1,07
21,3	2,3	1,08	1,37	0,067	0,63	0,59	0,83	0,68	1,26	1,18	0,68	0,68	1,26	1,18
21,3	2,5	1,16	1,48	0,067	0,66	0,62	0,89	0,67	1,33	1,25	0,67	0,67	1,33	1,25

a	b	s	M	A	A <sub>o</sub>	I <sub>z<sub>c</sub></sub>	I <sub>y<sub>c</sub></sub>	W <sub>z</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>o</sub></sub>	W <sub>y<sub>o</sub></sub>	i <sub>z</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>c</sub></sub>	W <sub>y<sub>c</sub></sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
30	18	1,2	0,83	1,06	0,092	1,24	0,56	0,82	0,62	1,02	0,72	1,06	0,73	1,27	1,04
30	18	1,5	1,01	1,29	0,091	1,46	0,65	0,98	0,73	1,23	0,86	1,06	0,71	1,32	1,24
30	18	1,75	1,16	1,48	0,090	1,63	0,73	1,09	0,81	1,39	0,97	1,05	0,70	1,72	1,38
30	18	2,0	1,30	1,66	0,089	1,78	0,79	1,19	0,87	1,53	1,07	1,04	0,69	1,89	1,50

A	s	M	A	A <sub>o</sub>	I <sub>z<sub>c</sub></sub>	I <sub>y<sub>c</sub></sub>	W <sub>z</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>o</sub></sub>	W <sub>y<sub>o</sub></sub>	i <sub>z</sub>	i <sub>y</sub>	W <sub>z<sub>c</sub></sub>	W <sub>y<sub>c</sub></sub>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
70	2,0	4,19	5,34	0,273	40,73	11,64	13,52	2,76	63,96	17,48	2,76	63,96	17,48	17,48
70	2,5	5,17	6,59	0,271	49,41	14,12	16,54	2,74	78,49	21,22	2,74	78,49	21,22	21,22
70	3,0	6,13	7,81	0,270	57,53	16,44	19,42	2,71	92,42	24,74	2,71	92,42	24,74	24,74
70	4,0	7,97	10,15	0,266	72,12	20,61	24,76	2,67	118,52	31,11	2,67	118,52	31,11	31,11
70	5,0	9,70	12,36	0,263	84,63	24,18	29,56	2,62	142,21	36,65	2,62	142,21	36,65	36,65

Źródło: Stalprodukt

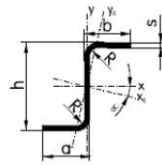
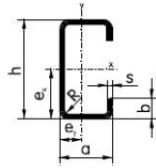
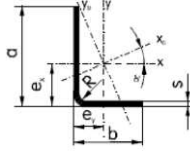




## Wstęp do współczesnej inżynierii

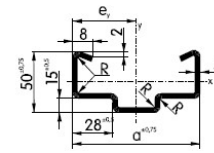
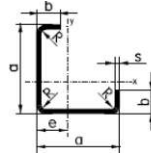
### Z czego robimy

Profile stalowe gięte otwarte



		PN-73/H-93460.01							
		Zakres szerokości ramion a [mm]				Dopuszczalne odchyłki [mm]			
		do 50				±1,0			
		powyżej 50 do 100				±1,5			
		powyżej 100				±2,0			
a × a [mm]	s [mm]	R <sub>max</sub> [mm]	M [kg]	A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>w</sub> [m <sup>2</sup> /m]	e [cm]	I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>x</sub> = W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	i <sub>x</sub> = i <sub>y</sub> [cm]
60 × 60	3,0	4,0	2,68	3,42	0,24	1,65	12,32	2,83	1,90
60 × 60	4,0	6,0	3,51	4,47	0,24	1,71	15,90	3,70	1,89
60 × 60	5,0	8,0	4,29	5,47	0,24	1,76	19,23	4,54	1,87
60 × 60	6,0	9,0	5,05	6,44	0,24	1,82	22,31	5,34	1,86

		PN-73/H-93460.03											
		Zakres a i h [mm]				Dopuszcz. odchyłki w klasie wykon. zwykłej							
		do 40				±1,0							
		powyżej 40 do 80				±1,5							
		powyżej 80 do 180				±2,0							
		powyżej 180				±2,5							
h × a [mm]	s [mm]	R <sub>max</sub> [mm]	M [kg]	A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>w</sub> [m <sup>2</sup> /m]	e <sub>x</sub> [cm]	e <sub>y</sub> [cm]	I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	i <sub>x</sub> [cm]	i <sub>y</sub> [cm]
70 × 40	3,0	4,0	3,25	4,14	0,29	3,5	1,23	31,39	6,64	8,97	2,39	2,75	1,27
70 × 40	4,0	6,0	4,19	5,34	0,28	3,5	1,28	38,92	8,38	11,12	3,09	2,70	1,25
70 × 40	5,0	8,0	5,06	6,45	0,27	3,5	1,34	45,11	9,90	12,89	3,73	2,64	1,24



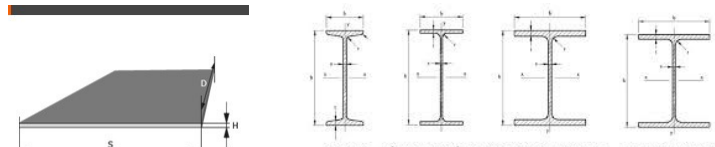
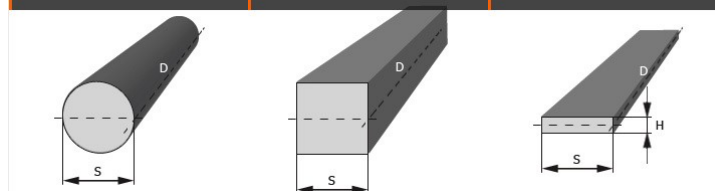
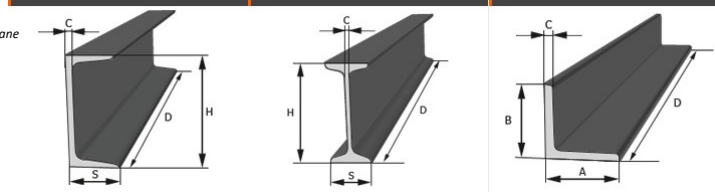
Źródło: Stalprodukt



## Wstęp do współczesnej inżynierii

### Z czego robimy

Profile stalowe walcowane



ZWYKŁY INP RÓWNOLEGŁOŚCIENNY IPE SZEROKOSTOPOWY HEB SZEROKOSTOPOWY HEA

Źródło: biastal.pl

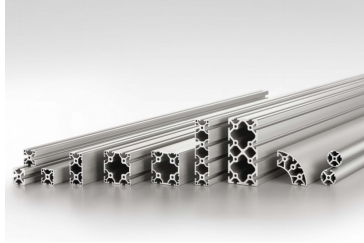
ŹródłoEuroMixStal





## Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy



Charakterystyka używanego materiału do produkcji profili:  
 Oznaczenie materiału: AlMgSi 0,5 F25 lub DIN 17615  
 Tolerancja wymiarów: EN-AW-6063  
 Minimalna wytrzymałość na rozciąganie: 250 N/mm<sup>2</sup>  
 Dolna granica plastyczności: 200 N/mm<sup>2</sup> (0,2%)  
 Wydłużenie względne: A5=8%, A10=10%  
 Moduł sprężystości liniowej: 70 000 N/mm<sup>2</sup>  
 Twardość: 75 HB  
 Obróbka powierzchni: anodowanie 15 μm

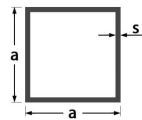
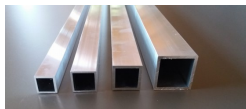


Źródło: Item

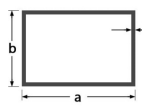


## Wstęp do współczesnej inżynierii

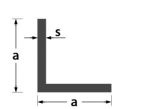
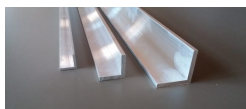
Z czego robimy



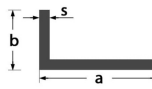
Profil kwadratowy zamknięty, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times a \times s$



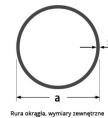
Profil prostokątny zamknięty, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times b \times s$



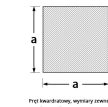
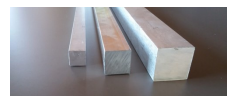
Kątownik równoboczny, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times a \times s$



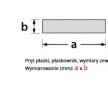
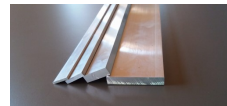
Kątownik nierównoboczny, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times b \times s$



Rura okrągła, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times s$



Profil kwadratowy, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times a \times s$



Profil prostokątny, wymiary zewnętrzne  
 Wymiarowanie (mm):  $a \times b \times s$



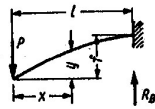
Źródło: metal-e.pl





Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy  
Momenty bezwładności przekrojów

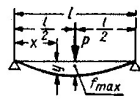


$$R_B = P$$

$$M_x = Px$$

$$M_{max} = Pl$$

$$f = \frac{Pl^3}{3EJ}$$



$$R_A = R_B = \frac{P}{2}$$

$$M_x = \frac{Px}{2}$$

$$M_{max} = \frac{Pl}{4}$$

$$f = \frac{Pl^3}{48EJ}$$



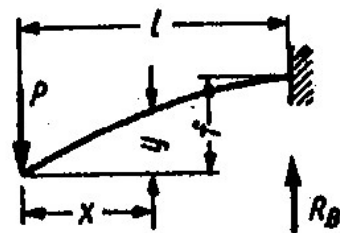
Źródło: zvcad.pl



Wstęp do współczesnej inżynierii

Z czego robimy  
Momenty bezwładności przekrojów

P = 1000 N  
L = 1,5 m

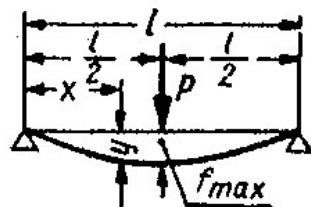


Stal

Aluminium

$$f = 1,091 \text{ mm}$$

$$f = 3,27 \text{ mm}$$



$$f = 0,1 \text{ mm}$$

$$f = 0,3 \text{ mm}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

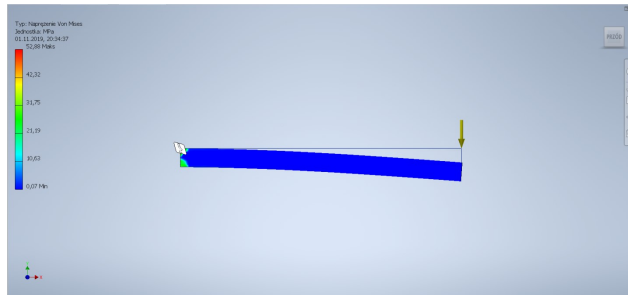
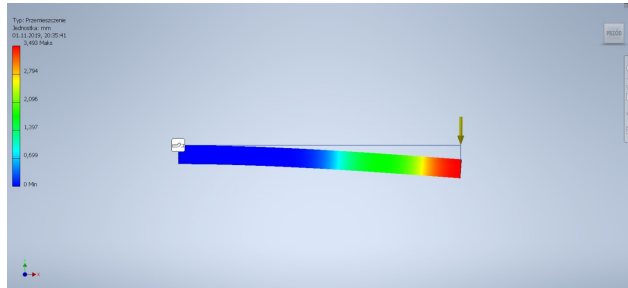
$$E = 70\,000 \text{ MPa}$$





Wstęp do współczesnej inżynierii

Aluminium



Wstęp do współczesnej inżynierii

Stal

