

V. ROZDZIAŁ PIĄTY.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.

A. Część pierwsza.

1. **Wzory podstawowe.** Pręt prosty (I. B. 4) jest rozciągany, lub ściskany, gdy obciążenia wszystkich jego płytek (I. B. 11) są osiowe (II. B. 7). Zatem pręt ważki winien być pionowy. Ciężar właściwy jego tworzywa oznaczamy przez c . W układzie osi (II. B. 5) odciętej x pierwotnej osi X pręta nieodkształconego przynależy siła osiowa O_x i przekrój bieżący F — stały, lub nader powolnie zmienny na całej długości l pierwotnej — pręta nieodkształconego, a przeto układ naprężeń osiowych (II. B. 10):

$$N_x = \frac{O_x}{F} \quad \frac{dN_x}{dx} = c \quad N_y = N_z = T_x = T_y = T_z = 0$$

czyni zadość warunkom równowagi (38) i brzegowym (39).

Dla tworzywa jednolitego, równokierunkowo sprężystego (III. A. 9) odpowiedni układ odkształceń będzie:

$$e_x = \frac{O_x}{EF} \quad e_y = e_z = -\frac{O_x}{mEF} \quad g_x = g_y = g_z = 0$$

Maximum N_m naprężeń osiowych N_x wyróżnia tak zwany *przekrój niebezpieczny*. To naprężenie najwyższe winno być równe *dopuszczalnemu* naprężeniu k_r przy rozciąganiu, lub k_s — przy ściskaniu, wtedy bowiem naprężenia osiowe pręta nie przekroczą granic dopuszczalnych.

W szczególnym przypadku pręta o *stałej wytrzymałości osiowej*, we wszystkich przekrojach panuje to samo naprężenie dopuszczalne. Pręt jest bezwzględnie najoszczędniejszy co do wytrzymałościowego wyzyskania tworzywa, a więc i najlżejszy.

Po odkształceniu długośćka dx pręta wydłuży się o:

$$e_x dx$$

stąd odpowiednio wydłużenia bezwzględne — odciętej x , oraz — całego pręta:

$$\Delta x = \int_0^x \frac{O_x dx}{EF} \quad \Delta l = \int_0^l \frac{O_x dx}{EF} \quad \dots \quad (70)$$

Siła sprężysta $N_x dF$, stopniowo rosnąc od zera, da pracę:

$$\frac{1}{2} N_x e_x dF dx$$

zatem praca sprężysta odcinka x , oraz — całego pręta będzie odpowiednio:

$$H_x = \int_0^x \frac{O_x^2 dx}{2 EF} \quad H = \int_0^l \frac{O_x^2 dx}{2 EF} \quad \dots \quad (71)$$

Wszystkie powyższe wzory są słuszne tylko w obszarze sprężystości i proporcjonalności tworzywa.

2. Pręt niejednolity. Pręt niejednolity (III. A. 8) rozciągany, lub ściskany, może stanowić całość, spoiłą wewnątrznie, gdy odkształcenia jednostek objętościowych każdej jego płytki będą tożsamościowe przy obciążeniach osiowych w obszarze zwykłych zmian temperatury. Inaczej mówiąc dla każdej płytki pręta niejednolitego współczynnik rozszerzalności cieplnej winien być stały, a naprężenia osiowe — zmieniać się według zależności:

$$\frac{N_x}{E} = e_x = \text{Const.}$$

tworząc w przekroju bieżącym układ sił sprężystych $N_x dF$, równoważących siłę osiową O_x obciążenia zewnętrznego.

W układzie osi głównych Y, Z przekroju bieżącego, współrzędne punktu przyłożenia siły osiowej O_x będą odpowiednio: y_0, z_0 , a przeto:

$$O_x = \int N_x dF \quad O_x y_0 = \int y N_x dF \quad O_x z_0 = \int z N_x dF$$

skąd bezpośrednio:

$$O_x = e_x \int E dF \quad y_0 = \frac{\int y E dF}{\int E dF} \quad z_0 = \frac{\int z E dF}{\int E dF} \quad (72)$$

W tych wzorach całkowaniem należy objąć cały przekrój pręta.

Punkt (y_0, z_0) zwie się *środkiem sprężystości* przekroju. Do tego środka należy przyłożyć wypadkową zewnętrznego obciążenia, prostopadłą do przekroju siłę mimoosiową O_x , aby pręt niejednorodny ściskany był, lub rozciągany — jak jednolity. Środek sprężystości utożsamia się z geometrycznym środkiem przekroju, gdy układ zmiennych wartości E jest symetryczny względem tego środka.

3. Wzorcowanie tworzyw. Rzeczowe wzorcowanie (*normalizowanie*) tworzyw, używanych w przemyśle i budownictwie, obejmuje: *wyróżnianie (unifikowanie)* i *ustalanie (standaryzowanie)*.

Wyróżnianie polega na *porównywaniu* tworzyw, ich rodzajów lub odmian, nadających się do tego samego użytku, lub zastosowania, na *wyodrębnianiu* z nich tworzywa wzorcowego (wzorca), najwłaściwszego tak co do celowości, jak i sprawności w użyciu, wreszcie, na *stopniowaniu* obranego wzorca według własności, lub wielkości — w celu dostosowania się do całkowitej skali zapotrzebowań. Porównywanie wymaga bacznej współpracy teoretyków i praktyków, zrzeszonych w instytutach badawczych; wyodrębnianie wzorców opiera się na wynikach prac i prób porównawczych, o ile nie korzysta z nabytych doświadczeń życiowych. Wreszcie — stopniowanie dąży do jednostajnego pokrycia całego obszaru stosowalności wzorca.

Ustalanie sprowadza się do rzeczowego opracowania obowiązujących przepisów, czyli *norm (wzorów)*, warunkujących bezwzględną jednostajność wzorca. Wyróżnianie nadaje mu prawo wyłącznego bytu, ustalanie — utrwała go i zabezpiecza od szkodliwych odchyleń. Stwarza obowiązującą niezmiennosc

wzorca, opartą na całokształcie przynależnych mu norm, które ustalają:

- a. same tworzywo co do natury, własności i stanu,
- b. rodzaj, własności, pochodzenie, otrzymywanie i przetwarzanie surowców, z których powstaje tworzywo wzorcowe,
- c. wymagania, dotyczące sposobów wytwarzania samego tworzywa wzorcowego,
- d. warunki jego sprzedaży, odbioru i dostawy, wreszcie:
- e. przepisy użytkowania i przechowywania.

Normy, ustalające tworzywo co do natury, własności i stanu, dają ostateczny wyraz wyodrębnieniu i ustopniowaniu wzorca, stanowią przeto ogniwo, łączące wyróżnianie z ustalaniem. Normy pozostałe — wkraczają w dziedzinę tworzywoznawstwa, opartego na badaniach: chemicznych, fizycznych, wytrzymałościowych i technologicznych.

4. Ocena tworzyw. Tworzywo, o ile ma być obciążane, winno podlegać ocenie wytrzymałościowej co do:

- a. jednolitości budowy i kierunkowych różnic sprężystości (III. A. 8),
- b. odporności na poszczególne rodzaje obciążeń (III. A. 2. IV. A. 1),
- c. wytrzymałości i odkształcalności, zmienności cech wytrzymałościowych, trwałości i wrażliwości na wpływy zewnętrzne (IV. A. 2 ÷ 9).

Tak więc tworzywa kamienne mają budowę niejednakową o różnych stopniach jednolitości dla skał litych, osadowych, zlepieńców... Różnice kierunkowe w pierwszym rzędzie zależne są tu od uławicenia, uwarstwienia złoży. Jeszcze wyraźniej występuje niejednorodność drewna i różnorodność w kierunkach: osi pnia, promienia i stycznych słoików. Stal zlewna natomiast ma budowę jednolitą, a nawet praktycznie równokierunkowo sprężystą, aczkolwiek pewne różnice daje tu kierunek walcowania.

Tworzywa gromad wykresowych *S* i *M* jednakowo znoszą obciążenia osiowe rozciągające i ściskające. Drewno — przeciwnie — lepiej pierwszym, tworzywa zaś gromady wykresowej *K* — drugim. Nadto odporność tworzywa zależy od rodzaju obciążenia: jest najwyższa przy obciążeniu trwałem, słabsza przy powtarzaniem, najslabsza, niekiedy wprost znikoma, przy obciążeniu przemienne. Stąd — konieczność rozróżniania naprężeń wytycznych i dopuszczalnych, przynależnych tym trzem podstawowym rodzajom obciążeń.

Zatem idzie jeszcze całokształt, czyli układ cech, wyróżniających tworzywo co do wytrzymałości i odkształcalności, wreszcie — ich zmienność, zależna od czasu, obróbki i wpływów cieplnych.

Z oceną wytrzymałościową kojarzy się, nie mniej praktycznie doniosła ocena technologiczna tworzywa co do jego cech uzupełniających: twardości, kruchości, ścieralności..., oraz własności swoistych: kowalności, spawalności, hartowności...

Wszystko to wymaga prób badawczych. W dziedzinie zagadnień czysto naukowych próby te stanowią o słuszności praw i wzorów, opartych na założeniach teoretycznych, a nadto — wskazują nowe drogi badań, dają wytyczne przy poszukiwaniu nieznanymi odmian tworzyw. W przemyśle — służą do stwierdzania koniecznej jednostajności wyrobu, do wykrywania szkodliwych zaniedbań i usterek, do wprowadzania właściwych poprawek, wiodących do pełnej wydajności.

5. Miara stanu K . Całokształt zgodnych wartości układu cech wytrzymałościowych wyróżnia *stan wytrzymałościowy* tworzywa. Stosunek przewężenia C do przydłużenia A , czyli tak zwana *miara stanu K* służy do wyodrębniania stanu wytrzymałościowego w tych wszystkich przypadkach, gdy cechy A i C wyraźnie z prób na rozciąganie określić się dają. Miara K zależy od stosunku długości pomiarowej do pierwotnej średnicy próbki. Przy wyznaczaniu K baczna uwaga trzeba zwracać na prawidłowość zerwania próbki: nieraz bowiem drobna powierzchnia przerwa ciągłości, lub zbyt głęboka ryska podziałowa powodują przedwczesne pęknięcia, zniekształcające A i C , a co zatem idzie i K . Próba jest miarodajna tylko wtedy, gdy obie powierzchnie pęknięcia ściśle przystają do siebie w zetknięciu.

Stan tworzywa, wyróżniony we wzorcowaniu, zwie się *wzorcowym*. Stan należytego wyżarzania zazwyczaj uważany jest za wzorcowy.

Miara K ma dlań wielkość ściśle określoną, wahającą się w granicach, nader szczupłych dla każdego tworzywa. Odchylenia świadczą o nieprawidłowości wyżarzania. Tak np. dla stali węglistej miara K stanu wzorcowego wyżarzania zawarta jest w granicach: $2 \div 2,5$. Niższe wartości wyrokuja o niewłaściwym walcowaniu, lub wyżarzaniu, przeważnie połączonych z kruchością tworzywa. Stal węglista przy $K < 1,8$ wogóle nie nadaje się do zastosowań praktycznych.

Przy hartowaniu miara K wzrasta dwukrotnie i wyżej w stosunku do stanu wzorcowego — wyżarzania. Pośredni

obszar zmienności tej miary stanu wyróżnia szereg stanów *wzmocnienia*, przynależnych stopniowaniu temperatur odpuszczania.

Wyższe wartości K pojawiają się przy obciążeniach trwałych, ponad granicę sprężystości tworzywa: próbka wytoczona z innej grubszej próbki odkształconej niesprężystości — daje K wyższe. To samo zachodzi również i przy zmęczeniu statycznym.

Przy odwartościowaniu tworzywa pod długotrwałym obciążeniem zmiennym mogą powstać odkształcenia niesprężyste w obszarach znikomo małych, lub skończonych. W obu tych przypadkach *zmęczenia* tworzywa miara K wzrasta — przy odkształceniach pomiarowo nieuchwytnych dość powolnie — przy skończonych nader szybko. Zależność miary K od zmęczenia można ustalić bezpośrednio, biorąc próbki, dobrze już, wysłużonych, lub przez długą pracę zniszczonych ogniwo ustrojów. Ta droga jest zawsze najwłaściwsza — inna — polega na próbach zmęczenia pod długotrwałym obciążeniem zmiennym. Najwyraźniejsze wyniki dają obciążenia jednostajne na całej długości pomiarowej próbki. Ta sama próbka służy potem do próby na rozciąganie, dającej K dla stanu zmęczenia, o ile, oczywiście, pozostała prostą przy odkształceniu.

Miara stanu K również dość szybko wzrasta przy zniekształcaniu na zimno: waha się w granicach $6 \div 9$ dla zwykłego drutu stalowego; dla drutów bardzo twardych podnosi się do 12, a nawet i wyżej.

B. Część druga.

1. **Wytrzymałość:** R_r — na rozciąganie, R_c — na ściskanie. Spółczynnik sprężystości podłużnej E_r — przy rozciąganiu E_c — przy ścisaniu. Znak wspólny E dotyczy tworzyw, dla których $E_r = E_c = E$. Obie cechy w kg/cm^2 .

ZESTAWIENIE I.

Tworzywo	$E \text{ kg/cm}^2$	$R_r \text{ kg/cm}^2$
Żelazo zgrzewne . . .	2000000	3000 — 4000
Stal węglista . . .	2150000	3500 — 4500
" " . . .	2200000	4500 — 6000
Stal niklowa . . .	2100000	5500 — 7000

TWORZYWO	$E \text{ kg/cm}^2$	$R_r \text{ kg/cm}^2$
Stal chromoniklowa . . .	2050000	5000 — 6500
Stal wolframowa	2400000	6000 — 7500
Stal sprężynowa	2200000	6000 — 10000
Stal lana	2150000	3500 — 7000
Platyna	1700000	3000 — 3500
Złoto	850000	1000 — 3000
Srebro	800000	1500 — 3000
Cynk	900000	1000 — 2000
Miedź	1300000	2000 — 4500
Bronz	1100000	1500 — 8000
Mosiądz	900000	1500 — 4500
Spiż	800000	2000 — 2500
Glin lany	700000	700 — 800
Glin walcowany	750000	1000 — 2500
Cyna	550000	150 — 250
Ołów	150000	150 — 250

Odechylenia od wyżej podanych średnich E dochodzą do $\pm 6 \%$. Dla drewna — do $\pm 10 \%$. W zestawieniu II znaki R_c' i R_c'' oznaczać mają odpowiednio: wytrzymałość na ściskanie w kierunku promienia i stycznej słoja. Przez c oznaczono ciężar właściwy drewna w gr/cm^3 . Wszystkie inne cechy w kg/cm^2 .

ZESTAWIENIE II.

c	E_r	E_c	R_r	R_c	R_c'	R_c''
Dąb:						
0,60 — 0,65	70000	65000	600 — 700	350 — 450	100 — 200	80 — 100
0,70 — 0,80	155000	150000	1400 — 1700	700 — 900	150 — 200	100 — 150
Jesion:						
0,40 — 0,50	40000	45000	300 — 400	350 — 400	80 — 120	100 — 150
0,65 — 0,80	130000	85000	1300 — 2200	400 — 500	100 — 150	150 — 200
Buk:						
0,75 — 0,85	190000	180000	1300 — 2000	700 — 800	200 — 300	150 — 200

c	E_r	E_c	R_r	R_c	R_c'	R_c''
Sosna:						
0,40 — 0,45	90000	95000	350 — 800	250—350	40— 60	50—100
0,50 — 0,60	160000	165000	1100—1600	600 — 800	50 - 100	80—150
Jodła:						
0,40 — 0,45	95000	100000	700 — 800	200—350	40— 60	50—100
0,45 — 0,50	160000	165000	1400—1500	500—600	50—100	80—150

Tworzywa gromady wykresowej K nie mają stałych E_r, E_c : dla żeliwa i tworzyw kamiennych współczynniki te maleją przy wzroście naprężeń, dla cięgien naodwrot. W zestawieniu III wszystkie cechy podano w kg/cm^2 .

ZESTAWIENIE III.

TWORZYWO	E_r, E_c	R_r	R_c
Żeliwo	700000—1300000	1000—2500	6000 - 8500
Beton	100000 - 350000	5— 40	80 - 500
Mur ceglany	20000 - 130000	—	50— 250
Pas skórzany	1200— 2300	200— 500	—
Lina konopna	6000— 15000	1200—1400	—

Dla liny konopnej podano R_r w stosunku do istotnego przekroju.

Na zestawieniu IV podano dla tworzyw kamiennych wytrzymałość R_c na ściskanie w kg/cm^2 , wahającą się w dużych granicach:

ZESTAWIENIE IV.

TWORZYWO	R_c	TWORZYWO	R_c
Bazalt	2500 - 5000	Marmur	1000—1800
Granit	450—3500	Wapniak	200—1500
Porfir	1900—3500	Piaskowiec . . .	400—2000
Łupek	600—1700	Cegła	100— 350

2. Tworzywa. a. Stal węglista. Średnie wartości zestawienia dotyczą stanu wyżarzania, przy dopuszczalnych skrajnych zawartościach:

$$Si \leq 0,4\% \quad Mn \leq 1,0\% \quad P \leq 0,06\% \quad S \leq 0,06\%$$

th oznacza temperaturę hartowania, *tw* — wyżarzania.

Przy zawartości węgla $< 0,2\%$, a nadto:

$$Si \leq 0,35\% \quad Mn \leq 0,5\% \quad P \leq 0,04\% \quad S \leq 0,04\%$$

stal nadaje się do owęglania, czyli sylenia węglikiem od powierzchni włąb. Począwszy od zawartości węgla $0,2\%$ — wzwyż, a nadto przy:

$$Si \leq 0,35\% \quad Mn \leq 0,8\% \quad P \leq 0,04\% \quad S \leq 0,04\%$$

stal węglista nadaje się do hartowania lub wzmacniania cieplnego, to jest hartowania i odpuszczania.

ZESTAWIENIE V.

WĘGLIK %:	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Q_r kg/cm ² . . .	2700	3200	3600	4100	4500	5000	5400
R_r kg/cm ² . . .	3700	4500	5300	6100	6900	7800	8700
$A\%$	30	24	20	17	15	12	9
K	2,2	2,5	2,6	2,6	2,3	1,9	1,5
<i>th</i>	940	920	900	880	860	840	820
<i>tw</i>	900	880	860	840	820	800	780

W tem zestawieniu i w następnych Q_r oznacza istotną granicę podatności, lub też $Q_{r0,2}$.

Dla stali hartowanej K , stosunek przewężenia do przydłużenia waha się w granicach: $4 \div 7$; przy właściwym wzmocnieniu cieplnem:

$$K = 3,0 \div 3,5$$

co odpowiada podwyższeniu R_r o $10 - 15\%$. Cechy, wyżej zestawione, przynależą temperaturze ca. 20°C . Przy temperaturach wyższych:

— R_r przechodzi przy $200 - 300^\circ$ przez maximum, wzrastając o $20 - 30\%$, poza 400° — poczyną gwałtownie opadać;

— Q_r , słabo zmienne poniżej 200° , dalej zagnęła zmniejsza się aż do zaniku: wykres S staje się wykresem M ;

— A przechodzi przy $200 - 300^\circ$ przez minimum, malejąc o $30 - 50\%$; poza 300° rośnie i przy 400° przekracza swą wielkość pierwotną o $20 - 50\%$;

— K przechodzi przez maximum $3,5 - 4,5$ przy $200 - 300^\circ$, dalej — przez minimum $1,8 - 2,1$ przy 300° , poczem znowu wzrasta.

b. Stal do owęglania zawiera najwyżej $0,2\%$ węgla przy:

$$Si \leq 0,35\% \quad Mn \leq 0,5\% \quad P < 0,04\% \quad S < 0,04\%$$

Owęglanie polega na długotrwałem nagrzewaniu przy $830 - 880^\circ$ przedmiotów stalowych z ciałami, łatwo oddającymi im węgiel. Po wystudzeniu powolnem, przedmioty owęglone należy wyżarzyć przy $600 - 650^\circ$, zahartować przy $800 - 900^\circ$ w oleju i ostatecznie powtórnie zahartować przy $760 - 800^\circ$ w oleju lub wodzie. Prostsze sposoby obróbki cieplnej dają gorszy stan rdzenia przedmiotu owęglonego.

ZESTAWIENIE VI.

STAL	Q_r kg/cm ²	R_r kg/cm ²	$A^\circ/\%$	Q_r' kg/cm ²	R_r' kg/cm ²	$A'^\circ/\%$
Chromowa:						
0,75% Cr . . .	3000	4500	20	6500	9500	10
Niklowa:						
3% Ni	3500	5500	20	7500	10500	10
5% Ni	4000	6500	20	8500	12500	10
Chromoniklowa:						
1% Ni, 0,25% Cr	3000	4500	15	4500	6500	10
3% Ni, 0,50% Cr	4500	6500	15	6500	9500	10
5% Ni, 0,75% Cr	6000	7500	15	9000	12500	10
Chromowanadowa:						
0,75% Cr, 0,1% V	3000	4500	20	5500	7500	10
Niklowomolibdenowa:						
1% Ni, 0,25 Mo .	3500	5500	20	6000	8000	10

Na zestawieniu podano wytyczne cechy Q_r , R_r , A dla tworzywa rdzenia po wyżarzeniu, oraz Q_r' , R_r' , A' — po ostatecznem zahartowaniu. Odpowiednie wartości K zawarte są w granicach 3 — 4 oraz 5 — 7.

c. Stal do wzmacniania cieplnego o zawartościach:

$$Si \leq 0,35\% \quad Mn \leq 0,8\% \quad P < 0,04\% \quad S < 0,04\%$$

Wyższa zawartość manganu cechuje stal manganową. Na zestawieniu w pierwszych wierszach podane są cechy wytrzymałościowe dla stali wyżarzanych przy temperaturach tw^0 , w drugich zaś i trzecich — dla wzmocnionych, to jest zahartowanych przy temperaturach th^0 w oleju, a następnie odpuszczonych przy różnych temperaturach.

ZESTAWIENIE VII.

STAL	tw^0	th^0	Q_r kg/cm ²	R_r kg/cm ²	$A^0/0$	K
Niklowa:						
0,3% C, 3% Ni	590	830	4500 5500 7500	7000 8000 9000	18 14 10	3,0 5,0 6,0
0,3% C, 5% Ni	570	850	5000 6500 8000	8000 9000 10000	15 13 10	3,0 4,0 5,0
Chromowa:						
0,4% C, 0,75% Cr	710	830	4000 6000 8500	6500 8500 10500	15 14 12	3,5 4,0 4,5
Chromoniklowa:						
0,3% C, 0,25% Cr, 1% Ni . .	620	830	4000 5500 6000	6500 7500 8500	16 14 12	3,0 4,0 4,5
0,3% C, 0,5% Cr, 3% Ni . .	600	820	4500 6000 7500	7500 8500 9500	15 13 11	3,5 4,5 5,0
0,3% C, 0,75% Cr, 5% Ni . .	580	810	5000 6500 8000	8500 9500 10500	14 12 10	4,0 5,0 5,5
Chromowanadowa:						
0,4% C, 0,75% Cr, 0,1% V . .	710	840	4500 6500 8000	7000 9000 11000	15 13 10	2,5 4,0 5,0
Chromomolibdenowa:						
0,4% C, 0,75% Cr, 0,25% Mo .	710	840	4000 5500 7500	6500 8000 9500	17 14 10	3,0 4,0 4,5
Manganowa:						
0,4% C, 1,5% Mn	710	820	4000 5500 7500	6500 8000 9500	14 13 10	3,5 4,0 4,5

d. Glin, miedź, ich stopy. Cechy wytrzymałościowe podano na zestawieniach w dość szerokich granicach, koniecznych ze względu na dotychczasowy brak wzorcowania.

ZESTAWIENIE VIII.

TWORZYWO	Q_r kg/cm ²	R_r kg/cm ²	$A^0/0$	K
Glin lany	300—500	800—1200	17—25	2,0—2,5
„ walcowany	1500—2500	1700—2900	3—6	16,0—18,0
„ wyżarzony	500—800	700—1100	30—45	2,0—2,5
Duralumin	2000—3000	3500—4500	17—25	1,2—1,4

Wytrzymałość glinu stopniowo zmniejsza się przy wzrastaniu temperatury i przy 300° maleje o 60—80%. Duralumin o zawartości: 0,5% *Mg*, 0,5 ÷ 1% *Mn*, 3,5 ÷ 5,5% *Cu* ma cechy, wyżej podane po zahartowaniu w wodzie przy 420 ÷ 520°. Przy 200° jego wytrzymałość spada prawie do połowy, natomiast poniżej zera Q_r , R_r , A powoli rosną przy obniżaniu się temperatury aż do —160°.

ZESTAWIENIE IX.

TWORZYWO	R_r kg/cm ²	$A^0/0$	K
Miedź walcowana	2000—2500	35—50	1,2—1,4
Bronz cynowy lany	2000—3000	5—15	1,8—2,0
„ fosforowy lany	2000—4500	10—30	0,9—1,4
„ manganowy	3000—4000	30—40	1,5—1,8
Mosiądz lany	1200—1800	10—20	1,2—1,4
„ walcowany	2000—3000	30—50	1,2—1,4
„ kowalny	3500—5000	15—30	1,2—1,4

Przy wzroście temperatury miedzi — R_r zmniejsza się jednostajnie i przy 300° maleje o 50—60%,

A — zmniejsza się również jednostajnie i przy 200° maleje o 30—40%,

K — do 200° utrzymuje się mniej więcej w mierze, potem poczyną wzrastać.

Dla stopów miedzi, wyżej zestawionych, wytrzymałość utrzymuje się mniej więcej w mierze do 200° — dalej — gwałtownie spada.

3. Naprężenia dopuszczalne przy rozciąganiu k_r kg/cm^2 i ścisaniu k_c kg/cm^2 .

ZESTAWIENIE X.

OBCIĄŻENIE:		TRWAŁE		POWTARZANE		PRZEMIENNE
NAPRĘŻENIE:	R_r	k_r	k_c	k_r	k_c	—
Żeliwo . . .	1300—1800	300—350	900—1000	180—230	540—660	100—150
Żeliwo kowalne	2000—3000	450—700	600—900	300—470	400—600	150—230
Stal zgrzewna	3000—4500	900—1200	900—1200	540—800	540—800	300—450
Stal zlewna . .	3000—4500	900—1500	900—1500	540—1000	540—1000	300—750
„ „ . . .	4500—7000	1200—1800	1200—1800	720—1200	720—1200	400—900
Stal tyglowa .	4500—9000	1200—2500	1200—2500	800—1700	800—1700	400—830
Stal niklowa .	4500—9000	1200—1800	1200—1800	800—1200	800—1200	400—600
Stal lana . . .	3500—6000	600—1200	900—1500	350—800	550—1000	200—600
Miedź walcow.	2000—2700	400—540	400—550	270—350	270—350	130—180
Bronz cynowy .	2000—2500	400—500	400—500	270—330	270—330	130—170
Bronz fosfor. .	3000—4500	600—900	600—900	400—600	400—600	200—300
Spiż	1800—2200	300—400	300—400	200—270	200—270	100—130
Mosiądz . . .	2000—3000	400—600	400—600	270—400	270—400	130—220
Mosiądz przedni	3500—6000	600—1000	600—1000	400—670	400—670	200—230
Glin lany . . .	900—1200	100—120	100—120	70—80	70—80	30—40
Dąb (drewno) .	350—500	100—180	80—90	70—120	50—60	40—60
Sosna, jodła .	250—400	90—150	60—70	60—100	40—50	30—50

Powyższe dane oparte są na próbach, zapoczątkowanych przez Fairbaira i Wöhler'a; te próby wykazały, że wytrzymałość podstawowa tworzywa, przynależna obciążeniu trwałemu (I) obniża się dość znacznie przy obciążeniu tego samego rodzaju okresowo zmiennem: powtarzanem (II) lub przemieniem (III). To obniżenie zależy od skrajnych naprężeń, ich wielkości i różnicy, a nadto od szybkości zmian obciążenia.

Tworzywa kamienne nie wytrzymują obciążeń przemiennych, osiowych, ze względu na niskie R_r . Ich naprężenia dopuszczalne przy obciążeniach trwałych i powtarzanych wahają się w dość znacznych granicach, zależnie od stopnia jednolitości tych tworzyw. Zatem podane niżej wartości średnie należy stosować nader ostrożnie w poszczególnych wypadkach. Zestawienie daje k_c w kg/cm^2 .

ZESTAWIENIE XI.

OBCIĄŻENIE:	I	II	OBCIĄŻENIE:	I	II
Bazalt	65	45	Marmur	30	20
Granit	60	40	Wapniak	30	20
Porfir	40	30	Piaskowiec	20	15
Mur z cegły na za- prawie wapiennej .	9	6	Mur z cegły na za- prawie cementowej	15	10

C. Część trzecia.

1. **Siły niszczące.** Pręt prosty rozciągany ulega zerwaniu, gdy naprężenie w jego przekroju niebezpiecznym F_n staje się równe wytrzymałości R_r tworzywa. Stąd — *siła zrywająca*:

$$O_r = R_r F_n$$

Krótki pręt prosty ściskany ulega zmiażdżeniu, gdy naprężenie w jego przekroju niebezpiecznym F_n staje się równe wytrzymałości R_c , oczywiście dla tworzywa gromady wykresowej K . Stąd *siła niszcząca*:

$$O_m = R_c F_n$$

Dla tworzyw gromady wykresowej S lub M , granica podatności Q_c , istotna, lub w ten, czy inny sposób ustalona, daje *siłę zniekształcającą*:

$$O_n = Q_c F_n$$

Długi pręt prosty ściskany ulega *wyboczeniu*. Długi pręt prosty o stałym przekroju F , swobodnie zwisający pionowo, może ulec zerwaniu pod własnym ciężarem:

$$c F l_r$$

Tu c oznacza ciężar właściwy tworzywa w kg/cm^3 , a l_r — tak zwaną *długość zrywającą* w cm. Przy tej długości w górnym przekroju niebezpiecznym panować będzie naprężenie R_r , zatem:

$$l_r = \frac{R_r}{c}$$