

6 / 1980

J. Miastkowski, W. Szczepiński

DOŚWIADCZALNA ANALIZA POWIERZCHNI
WPLYWU PLASTYCZNEGO ODKSZTALCENIA
NA WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ METALI

P. 269



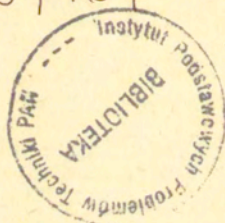
WARSZAWA 1980

<http://rcin.org.pl>

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 8 stycznia 1980 r.

Zarejestrowana pod nr 6/1980

57167



N a p r a w a c h r ę k o p i s u

Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 150 egz. Ark.wyd. 4,2. Ark.druk. 6,25.

• Oddano do drukarni w marcu 1980 r.

Nr zamówienia 229/0/80

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

Józef Miastkowski, Wojciech Szczepiński
Zakład Mechaniki Ośrodków Ciągłych
IPPT PAN

DOŚWIADCZALNA ANALIZA POWIERZCHNI WPLYWU PLASTYCZNEGO ODKSZTAŁCENIA NA WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ, METALI

1. Wprowadzenie

Bardzo dawno, bo już w połowie XIX wieku zauważono, że wytrzymałość elementów poddanych działaniu zmiennych obciążeń ulega obniżeniu. Dzięki pracom A. Wöhlera, od roku 1852 datuje się początek systematycznych badań zmęczeniowych. Ciągły rozwój tych badań, niezwykle intensywny w ostatnim okresie, nie przyniósł jak dotąd rozwiązania podstawowego zagadnienia jakim jest istota zmęczenia materiałów. Dlatego to, uwaga badaczy koncentruje się na poznaniu wpływu na wytrzymałość zmęczeniową czynników konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych. Do tych czynników zaliczamy między innymi rodzaj i stan obciążenia, asymetrię cyklu, koncentrację naprężeń, stan powierzchni elementu, rozmiary próbek, częstotliwość obciążeń, działanie środowiska, obróbkę cieplną i strukturę materiału. Wpływ wymienionych czynników oraz złożoność procesu zmęczeniowego sprawiają, że istniejące obecnie teorie nie ujmują w całości, a jedynie poszczególne aspekty zagadnienia zniszczenia zmęczeniowego metali.

Nowym zjawiskiem do odnotowania, zauważalnym w ostatnich latach, jest intensywny wzrost badań tzw. nisko-cyklicznego zmęczenia. Pod tym pojęciem rozumiane są badania materia-

łów pod działaniem powtarzających się cyklicznie obciążeń przy stosunkowo niewielkich częstotliwościach /poniżej 1 Hz/, wysokich poziomach obciążeń /równych lub wyższych od granicy plastyczności /i żywotności od kilkudziesięciu do $2 \cdot 10^5$ cykli.

1.1. Wykresy zmęczeniowe Wöhlera

Wytrzymałość zmęczeniową określa się na podstawie badań określonej liczby próbek, obciążonych przy różnych wartościach σ_a i σ_m /tablica 1/, aż do ich zniszczenia. Otrzymane wartości nanosi się w postaci punktów na wykres w układzie osi współrzędnych σ -N /lub najczęściej we współrzędnych σ - $\log N$ /. Łącząc punkty linią krzywą otrzymuje się wykres zmęczeniowy lub inaczej wykres Wöhlera [1]. Na rys.1 podano schematycznie zależność między poziomem cyklicznych naprężeń maksymalnych σ_{max} , wielkością wydłużenia po jej zniszczeniu δ i liczbą cykli N, przy których następuje zniszczenie. Zależność między obciążeniem a liczbą cykli do zniszczenia została podzielona na trzy obszary. W pierwszym obszarze, nazywanym obszarem quasi-statycznego zniszczenia, zniszczenie próbek poprzedzone jest plastycznym odkształceniem. Względne wydłużenie /rys.1b/ jest równe względnemu wydłużeniu δ_s przy statycznej próbie rozciągania, a w pewnych przypadkach może być nawet większe.

Drugi obszar odpowiada wytrzymałości zmęczeniowej przy małej liczbie cykli obciążenia. Zniszczenie zachodzi tu na drodze powstawania i rozwijania się szczeliny zmęczeniowej. Procesowi temu towarzyszą zauważalne odkształcenia plastyczne.

W obszarze trzecim zniszczenie zmęczeniowe zachodzi przy całkowitym braku wydłużenia względnego próbki. W pewnych przypadkach ta część wykresu Wöhlera może przechodzić w linię poziomą odpowiadającą granicy zmęczenia ZZ /nieograniczona lub trwała wytrzymałość zmęczeniowa/.

Dla większości stopów aluminiowych wspomniane wyżej przejście wykresu zmęczeniowego w linię poziomą nie zachodzi nawet przy bardzo dużych liczbach cykli obciążenia. Oznacza to, że dla tych stopów nie istnieje granica zmęczenia. Na tę własność stopów aluminiowych zwrócili uwagę, jako jedni z pierwszych, W. Corse i G. Comstock [2]. Prowadząc badania zmęczeniowe do trzydziestu milionów cykli stwierdzili ciągle opadanie krzywej Wöhlera. Jeszcze bardziej długotrwałe badania przeprowadzone zostały w pracy H. F. Moore'a i J. B. Komersa [3] na duraluminiowych próbkach w stanie wyjściowym, po hartowaniu i po wyżarzaniu. Stwierdzono, że przy liczbie obciążeń dochodzących do 400 mln cykli zależność $\sigma - \log N$ wykazywała ciągle tendencję opadającą.

Przytoczone przykłady są charakterystyczne dla zachowania się stopów aluminiowych przy obciążeniach zmęczeniowych niezależnie od ich gatunku. Pewne różnice można zaobserwować jedynie w budowie i pochyleniu prostych, odpowiadających zależności $\sigma - \log N$. Dla jednych stopów zależność tę obrazują dwa lekko załamujące się odcinki prostych, dla innych natomiast załamania takiego brakuje w całym obszarze zależności od N równego około 10 do $5 \cdot 10^8$ cykli. Wobec powyższego, wartość wytrzymałości zmęczeniowej stopów aluminium przyjęto określać przy liczbie cykli rzędu $5 \cdot 10^8$. Ponadto, w wielu przypadkach wyznacza się również tzw. ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową odpowiadającą przedziałowi N od 10^4 do $2 \cdot 10^6$ cykli.

1.2. Wpływ wstępnych odkształceń plastycznych na wytrzymałość zmęczeniową metali

Spośród czynników technologicznych istotny wpływ na wytrzymałość zmęczeniową materiału ma jego obróbka plastyczna [4,5]. W pracy Z. Dyląga i Z. Orłosa [4] badania zmęczeniowe przeprowadzono na próbkach wykonanych z niskowęglowej stali konstrukcyjnej o pięciu wartościach wstępnych wydłużeń

trwałych $\epsilon = 0, 5, 10, 15$ i 20% . Tak przygotowane próbki poddawano obrotowemu zginaniu w maszynach typu Amslera przy trzech tysiącach obrotów próbki na minutę. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wstępne odkształcenie plastyczne badanej stali spowodowało pewne przyrosty ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej /dla $N = 5 \cdot 10^6$ /. Jeżeli przyjąć wytrzymałość zmęczeniową próbek nieodkształconych wstępnie za 100% , to odpowiednie wytrzymałości dla próbek po plastycznym odkształceniu miały wartość:

dla $\epsilon^P = 5\%$	wytrzymałość zmęczeniowa wynosiła	$Z^0 = 100\%$
dla $\epsilon^P = 10\%$	" "	$Z^0 = 106\%$
dla $\epsilon^P = 15\%$	" "	$Z^0 = 108\%$
dla $\epsilon^P = 20\%$	" "	$Z^0 = 108\%$

Podobnie jak w pracy [4], badania wpływu wstępnych odkształceń plastycznych są w większości przypadków przeprowadzane przy cyklicznym zginaniu. Warto więc poświęcić nieco uwagi pracy A. Ingerma i E. Rannata [5], w której badano wpływ wstępnych małych odkształceń plastycznych na wytrzymałość zmęczeniową stali St3 i żelaza armco przy symetrycznych i asymetrycznych cyklach obciążenia rozciąganie-ściskanie. Częstotliwość obciążeń wynosiła 25 Hz. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej dla obu materiałów, przy czym największą wartość tego obniżenia obserwuje się dla próbek wstępnie wydłużonych w przybliżeniu do końca odcinka przystanku plastycznego. Stwierdzono również, że stopień obniżenia wytrzymałości zmęczeniowej przy niesymetrycznym obciążeniu zależy od znaku średniego naprężenia cyklu. Maksymalne obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej przy asymetrii cyklu $R = -0,75$ /średnie naprężenie rozciągające/ wynosi około $3,1\%$, natomiast przy $R = -1,25$ /średnie naprężenie ściskające/ - $12,7\%$.

Rozbieżność wyników, widoczna na przykładzie wyżej omówionych prac, wskazuje na istotny wpływ rodzaju obciążeń cyklicznych na wytrzymałość zmęczeniową metali. Wpływ ten

staje się łatwiej zrozumiały, jeśli się weźmie pod uwagę, że przy obciążeniu zginającym przekrój próbki jest naprężony w sposób niejednorodny. Przy takim sposobie obciążenia stan warstw powierzchniowych i podpowierzchniowych oraz naprężenia szczątkowe, wywołane obróbką plastyczną i mechaniczną, odgrywają istotną rolę.

1.3. Badania zmęczeniowe w złożonym stanie naprężenia

W olbrzymiej masie prac, w których zagadnienia zmęczenia są rozpatrywane z punktu widzenia fenomenologicznego, stosunkowo drobną cząstkę stanowią badania zmęczeniowe w złożonym stanie naprężenia. Podstawową przyczyną małej ich liczby są trudności w przeprowadzaniu badań przy złożonych stanach naprężenia w warunkach długotrwałych obciążeń zmęczeniowych. Wiąże się to z koniecznością stosowania automatycznej kontroli i regulacji obciążeń oraz z zapewnieniem szczelności w przypadku wywoływania obciążeń za pośrednictwem cieczy. Poza tym, do wyznaczenia jednego punktu na płaszczyźnie naprężeń potrzebne są badania wielu próbek przy różnych poziomach naprężenia i wyznaczenie krzywej Wöhlera w poszukiwanym zakresie.

Jednym ze sposobów wywoływania w próbce, przy cyklicznym obciążeniu, złożonego stanu naprężenia jest poddawanie jej jednoczesnemu zginaniu i skręcaniu. Metoda ta ma jednak szereg wad, takich jak niejednorodny stan naprężenia w przekroju próbki, możliwość realizowania jedynie cyklu symetrycznego przy zginaniu i innych, co w znacznej mierze ogranicza jej użyteczność. Wad tych nie mają sposoby wyznaczania powierzchni zniszczenia zmęczeniowego w oparciu o badania ciężkościennych próbek rurkowych, poddawanych różnym kombinacjom siły osiowej i ciśnienia wewnętrznego [6].

1.4. Linie wpływu plastycznych odkształceń na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową

W prezentowanej pracy omówione zostaną wyniki badań ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej w oparciu o koncepcję linii wpływu plastycznego odkształcenia, zaproponowaną w pracy [7] i [8]. Praktyczne zastosowanie po raz pierwszy tej metody do badań zmęczeniowych staje się jednocześnie początkiem jakościowo nowych poszukiwań najkorzystniejszych sposobów obróbki plastycznej dla uzyskania optymalnych własności eksploatacyjnych metali przy obciążeniach cyklicznych.

2. Metodyka i wyniki badań

Badania powierzchni wpływu plastycznego odkształcenia przeprowadzono w oparciu o weryfikację doświadczalną elipsy PLENR leżącej na elipsoidzie trójosiowej /rys.2/. Elipsoida ta jest, jak wiadomo, obrazem geometrycznym warunku plastyczności Hubera-Misesa-Hencky'ego dla płaskiego stanu naprężenia. Poszczególne punkty elipsy PLENR są określone z prób jednoosiowego rozciągania płaskich próbek wycinanych w różnych kierunkach względem osi x.

Z arkusza blachy o grubości nominalnej 3 mm, ze stopu aluminium PA2N /AlMg2/ w stanie miękkim, wycięto duże próbki /rys.3/. Podzielono je na trzy serie w ten sposób, że w każdej z nich znalazły się próbki wycięte w 5-ciu różnych kierunkach względem osi x. Próbki każdej serii wstępnie odkształcano plastycznie, poddając je określonemu jednoosiowemu obciążeniu rozciągającemu, jednakowemu dla wszystkich próbek jednej serii /rys.4/. Każdą z trzech serii odkształcano przy innej wartości obciążenia σ_A , σ_B i σ_C .

W tablicach 4-9 podano pełne zestawienie wyników pomiarów dużych próbek przed i po wstępnym obciążeniu.

Wyniki badań materiałowych blachy w stanie wyjściowym zamieszczono w tablicach 2 i 3. Na ich podstawie można zbudować w przestrzeni naprężeń krzywe plastyczności /odpowiadające elipsie PLENR na rys.2 /dla różnych definicji granicy plastyczności. Na rys.6 podano punkty doświadczalne i wykres zbiorczy uzyskane podczas rozciągania dwóch serii płaskich próbek wyciętych z blachy w pięciu różnych kierunkach $\alpha = 0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ, 90^\circ$. Początkowe fragmenty krzywych rozciągania pokazano na rysunkach 7 i 8. Na tych rysunkach pokazano również sposób wyznaczania odpowiednio zdefiniowanych granic plastyczności. I tak: σ_{prop} - oznacza granicę proporcjonalności, a $\sigma_{0,5}$ - odpowiada naprężeniem, które wywołują w próbce odkształcenia trwałe $\epsilon_p = 0,5\%$.

Na rys.9 i w tablicy 10 podano wyniki rozciągania próbek w kierunku osi x po uprzednim ich odkształceniu w pięciu różnych kierunkach określonych wybranymi wartościami kąta α obciążeniem σ_A .

Po wstępnym odkształceniu plastycznym dużych próbek wycinano z nich małe próbki /rys.5/ w ten sposób, że były one wszystkie równoległe do osi x /rys.4/. W podobny sposób przygotowano małe próbki do badania w stanie wyjściowym, wycinając je bezpośrednio z blachy w określonym kierunku. Tak otrzymane próbki poddawano następnie cyklicznym obciążeniom zmęczeniowym. Wyniki tych badań podano w tablicach 11-14.

Dla materiału w stanie wyjściowym i po wstępnych odkształceniach plastycznych opracowano wykresy zmęczeniowe Wöhlera w układzie osi $\sigma_{max} - \log N$ /rys.10-25/. Do określenia równań prostych posłużono się metodą najmniejszych kwadratów /tablice 15-31/, przy czym w tablicy 15 podano ogólne zależności i metodykę postępowania.

Na rysunkach 26-30 przedstawiono zbiorcze zestawienie wykresów zmęczeniowych. Pozwoliły one na przeprowadzenie analizy wpływu jaki na wytrzymałość zmęczeniową w danym

kierunku mają, różne co do wielkości, wstępne odkształcenia plastyczne, wywołane na odmiennych drogach obciążenia /w różnych kierunkach/.

W tabelicy 32 podano wartości ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej Z^0 dla $\log N = 5,5$ / $N = 316228$ cykli/. W rzędach wytrzymałości te odnoszą się do trzech różnych wartości naprężeń / σ_A , σ_B i σ_C /, przy których realizowano wstępne odkształcenia blachy, natomiast w kolumnach umieszczono wartości wytrzymałości zmęczeniowej dla pięciu różnych kierunków wstępnego obciążenia / $\alpha = 0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ, 90^\circ$ /. W tabelicy tej podano również ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową, dla $\log N = 5,5$, materiału w stanie wyjściowym oraz wartości względnej zmiany ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, obliczonej według zależności /1/

$$/1/ \quad K = \frac{Z^0}{Z^0_0} \cdot 100 \%$$

gdzie Z^0 - ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa materiału nie odkształconego

Z^0_0 - ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa materiału w stanie wyjściowym /bez zadanych odkształceń wstępnych/

Analogiczne wyniki badań ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, określonej dla $\log N = 6,0$ / $N = 1$ mln cykli/, podano w tabelicy 33.

Wykresy względnych zmian ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej K /dla obu definicji: $\log N = 5,5$ i $\log N = 6,0$ / w zależności od kierunku wstępnego obciążenia podano na rysunkach 31-35. Linia przerywaną zaznaczono na tych rysunkach wartość ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej dla materiału w stanie wyjściowym / $K = 100$ %/.

Na podstawie przedstawionych wykresów można powiedzieć, że po plastycznym odkształceniu blachy w różnych kierunkach, największą wytrzymałość zmęczeniową w określonym kierunku

wykazują te próbki, które były wstępnie odkształcone na drodze obciążenia o tym samym kierunku co późniejsze obciążenia cykliczne. Wyjątek stanowią tu jedynie krzywe uzyskane po obciążeniu σ_A /rys.31/. W tym przypadku wyższą niezależnie wytrzymałość zmęczeniową wykazują próbki wstępnie odkształcone na drodze obciążenia w kierunku $\alpha = 45^\circ$. Dla wszystkich trzech przypadków obciążenia, względna wytrzymałość zmęczeniowa ograniczona obciążeniami, dla których $\log N = 6,0$, jest wyższa od analogicznej względnej wytrzymałości określonej dla $\log N = 5,5$. Wreszcie, należy tu zaznaczyć, że wytrzymałość zmęczeniowa próbek poddanych niewielkim wstępnym odkształceniom plastycznym obciążeniami σ_A , niezależnie od kierunku, jest dla $\log N = 5,5$ znacznie niższa od wytrzymałości zmęczeniowej materiału wyjściowego $\sigma/K < 100 \%$, a dla $\log N = 6,0$ - niższa dla kierunku $\alpha = 90^\circ$ i tylko nieznacznie wyższa dla pozostałych dróg wstępnego obciążenia.

Na rysunkach 36-39 podano wykresy zmian względnej ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej w funkcji wstępnych odkształceń dla wszystkich pięciu kierunków obciążenia. Wytrzymałość ta, określona dla wartości $\log N = 5,5$ /rys.36/, początkowo obniża się, osiąga minimum przy trwałych odkształceniach rzędu 0,5 %, a następnie wzrasta. Wzrost ten w istotny sposób zależy od kierunku wstępnego obciążenia. Dla $\alpha = 0^\circ$, wartość K wynosi około 109 %, natomiast dla $\alpha = 90^\circ$ - rzędu 99 %, a więc poniżej wytrzymałości materiału w stanie wyjściowym.

Podobną zależność od wielkości wstępnych odkształceń plastycznych wykazują krzywe KK określone dla $\log N = 6,0$.

Na podstawie analizy krzywych $K = f(\epsilon)$ i wykresu rozciągania $\sigma = \varphi(\epsilon)$ można zauważyć, że obniżanie się ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej zachodzi tak długo, jak długo trwa proces przejściowego nieustalonego wzmocnienia materiału. Z chwilą, kiedy efekt wzmocnienia przechodzi w etap ustabilizowany krzywe K systematycznie wzrastają.

2.1. Określanie powierzchni wpływu plastycznego odkształcenia na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową

Sposób wyznaczania i przedstawiania powierzchni wpływu plastycznego odkształcenia na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową wyjaśnia rys.40. Przypominamy, że szereg dużych próbek, wyciętych z blachy w różnych kierunkach względem osi $x / \alpha = 0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ, 90^\circ$, poddano wstępnemu rozciąganiu osiowemu. Po odciążeniu, z próbek tych wycięto małe próbki, wszystkie w jednym kierunku - wzdłuż osi x . Następnie, poddając małe próbki obciążeniom cyklicznym, wyznaczono krzywe Wöhlera i określono ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową dla $\log N = 5,5$ i $\log N = 6,0$. Otrzymane wartości wytrzymałości przedstawiono w przestrzeni naprężeń w postaci punktów na promieniach odpowiadających kierunkom obciążeń wstępnych, na których próbki te odkształcano plastycznie. Linia łącząca odpowiednie punkty na promieniach określa powierzchnię wpływu zadanych plastycznych odkształceń na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową przy cyklicznych jednoosiowych obciążeniach rozciągających w kierunku osi x .

Wyniki badań powierzchni wpływu dla trzech różnych wielkości wstępnego odkształcenia plastycznego podano w tablicach 34-36, a ich graficzne przedstawienie zamieszczono na rysunkach 41-45. Stwierdzono, że najkorzystniejszy wpływ na podwyższenie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej wywarło obciążenie w kierunku późniejszych obciążeń cyklicznych, a więc, jeśli kierunek przeciążenia, podczas którego materiał doznaje wstępnych odkształceń plastycznych, i kierunek eksploatacji przy zmiennych obciążeniach są zgodne.

Drugim istotnym spostrzeżeniem jest to, że powierzchnie wpływu niewiele odbiegają od powierzchni granicznej Hubera-Misesa dla płaskiego stanu naprężenia po zmniejszeniu lub zwiększeniu jej w sposób izotropowy i przesunięciu w kierunku wtórnych obciążeń cyklicznych.

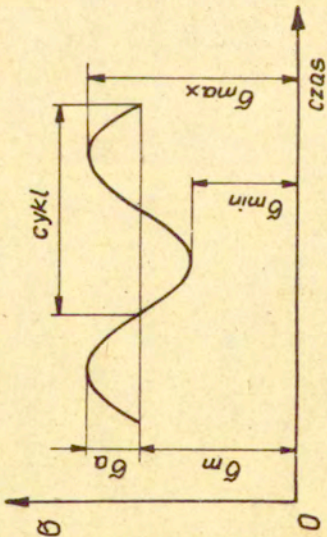
3. Wnioski

1. Zależność K w funkcji wstępnych odkształceń plastycznych ma początkowo charakter malejący, a następnie po osiągnięciu minimum, zależność ta rośnie w miarę zwiększających się plastycznych odkształceń. Stwierdzono, że obniżenie względnej ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej jest związane z początkowym etapem niustabilizowanego wzmocnienia. Z chwilą, kiedy wzmocnienie materiału przechodzi w etap ustabilizowany, krzywe K systematycznie wzrastają.
2. Niezależnie od wielkości wstępnego odkształcenia, względna ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa przy wartości $\log N = 6,0$ jest wyższa od analogicznej wytrzymałości dla $\log N = 5,5$.
3. Jeżeli kierunki: wstępnego przeciążenia i obciążeń cyklicznych są zgodne, wówczas ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa materiału osiąga swoją wartość maksymalną.

4. Literatura

1. S.KOCAŃDA, Zmęczeniowe niszczenie metali, WNT Warszawa 1972
2. W.M.CORSE, G.F.COMSTOCK, Aluminium Bronze - Some Recent Test and Their Significance. Amer. Soc. Test. Mat., vol. XVI, Pt. 11, 1916, p. 118
3. H.F. MOORE and J.B. KOMMERS, Fatigue of Metals, McGraw Hill, New York, 1927
4. Z. DYLAŁ, Z. ORŁOŚ, Badania wpływu wstępnych odkształceń trwałych na wytrzymałość zmęczeniową pewnej stali niskowęglowej, Biuletyn WAT, Rok IX, 9/98/, 1960, ss. 53-73
5. A. INGERMA, E. RANNAT, Wpływ małych odkształceń plastycznych na granicę wytrzymałości zmęczeniowej metali, Czas. Techn. Mechanika, wyd. Politechniki Krakowskiej, Rok 78, z. 10 /181/, Kraków 1974, ss. 1-6
6. L. DIETRICH, K. TURSKI, Badania zmęczeniowe w złożonym stanie naprężenia, Mech. Teoret. Stos., 1, 10, 1972, ss. 9-28
7. W. SZCZEPIŃSKI, K. TURSKI, On the lines of influence of plastic deformation, Arch. Mech. Stosow., 1, 21, 1969, 49-57
8. W. SZCZEPIŃSKI, On the concept of influence surfaces of plastic prestraining in the analysis of mechanical performance of metals, Proc. Symposium on Foundations of Plasticity Warsaw August 30-September 2, 1972, Noordhoff Intern. Publ., 1973

5. Tablice 1 - 36

Charakterystyka obciążeń zmęczeniowych		Rodzaj obciążenia	
		Pulsacyjne rozciąganie	Cykl jednostronny dodatni
		<p>Podstawowe zależności</p> $R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \text{const}; \quad R = 0,2$ $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$ $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ $\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_a}$ $R = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}; \quad \alpha = \frac{1+R}{1-R}$ <p>dla $R = 0,2 \quad \alpha = 1,5$</p>	
σ_m	— naprężenie średnie		
σ_a	— amplitudy		
σ_{\min}	— minimalne		
σ_{\max}	— maksymalne		
R	— współczynnik amplitudy cyklu		
α	— statystyki obciążeń		

Tablica Nr 2

Nr próbki W1-3/W2-2		$\alpha = 0^\circ$		Nr próbki W1-26/W2-25		$\alpha = 22,5^\circ$		Nr próbki W1-33/W2-35		$\alpha = 45^\circ$		
Napężenia σ		średnie		Napężenia σ		średnie		Napężenia σ		średnie		
rodzaj	seria W1	seria W2	rodzaj	seria W1	seria W2	rodzaj	seria W1	seria W2	rodzaj	seria W1	seria W2	
prop	4,90	5,00	prop	5,15	5,05	prop	5,10	5,15	prop	5,00	5,15	
0,01	5,75	5,75	0,01	6,20	6,15	0,01	6,17	6,50	0,01	6,50	5,95	
0,02	6,28	6,20	0,02	6,70	6,65	0,02	6,67	7,25	0,02	7,25	6,40	
0,1	8,30	7,97	0,1	8,30	8,20	0,1	8,25	8,55	0,1	8,55	8,25	
0,2	9,07	8,94	0,2	9,10	8,88	0,2	8,99	9,08	0,2	9,08	9,06	
0,3	9,56	9,50	0,3	9,55	9,35	0,3	9,45	9,45	0,3	9,45	9,43	
0,4	9,88	9,90	0,4	9,85	9,73	0,4	9,79	9,75	0,4	9,75	9,73	
0,5	10,20	10,23	0,5	10,15	10,03	0,5	10,09	10,00	0,5	10,00	10,00	
max	20,99	20,69	max	20,84	20,51	max	20,66	20,57	max	20,57	20,50	
Nr próbki W1-41/W2-42		$\alpha = 67,5^\circ$		Nr próbki W1-54/W2-53		$\alpha = 90^\circ$		Badania materiału w stanie wyjściowym przy obciążeniach statycznych Materiał: PA 2 N				
Napężenia σ		średnie		Napężenia σ		średnie						
rodzaj	seria W1	seria W2	rodzaj	seria W1	seria W2	rodzaj	seria W1					seria W2
prop	4,90	5,10	prop	5,10	5,20	prop	5,10					5,15
0,01	6,40	6,50	0,01	6,97	6,05	0,01	6,21					6,21
0,02	7,00	6,95	0,02	6,70	6,60	0,02	6,65	6,65				
0,1	8,46	8,45	0,1	8,30	8,30	0,1	8,30	8,30				
0,2	9,22	9,15	0,2	9,15	9,20	0,2	9,18	9,18				
0,3	9,60	9,60	0,3	9,65	9,70	0,3	9,60	9,67				
0,4	9,86	9,98	0,4	9,97	10,10	0,4	9,92	10,03				
0,5	10,08	10,27	0,5	10,25	10,40	0,5	10,32	10,32				
max	20,61	20,65	max	20,69	20,50	max	20,60	20,60				

Tablica Nr 3

Nr próbki	W1-3/W2-2			W1-26/W2-25			W1-33/W2-35			$\alpha = 45^\circ$	
	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
	1,00000			0,85355			0,50000				
	0,00000			0,14645			0,50000				
	0,00000			0,35355			0,50000				
σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}
	prop	4,95	—		prop	5,10	4,35		0,75	prop	5,08
0,01	5,75	—	—	0,01	6,17	5,27	0,90	0,01	6,22	3,11	3,11
0,02	6,24	—	—	0,02	6,67	5,69	0,98	0,02	6,82	3,41	3,41
0,1	8,13	—	—	0,1	8,25	7,04	1,21	0,1	8,40	4,20	4,20
0,2	9,00	—	—	0,2	8,99	7,67	1,32	0,2	9,07	4,53	4,53
0,3	9,53	—	—	0,3	9,45	8,07	1,38	0,3	9,44	4,72	4,72
0,4	9,89	—	—	0,4	9,79	8,36	1,43	0,4	9,74	4,87	4,87
0,5	10,21	—	—	0,5	10,09	8,61	1,48	0,5	10,00	5,00	5,00
max	20,84	—	—	max	20,66	17,63	3,02	max	20,54	10,27	10,27
W1-41/W2-42			W1-54/W2-53			W1-54/W2-53			$\alpha = 90^\circ$		
$\alpha = 67,5^\circ$			$\alpha = 67,5^\circ$			$\alpha = 90^\circ$					
a	0,14645			a	0,00000			a	0,00000		
b	0,85355			b	1,00000			b	1,00000		
c	0,35355			c	0,00000			c	0,00000		
σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ	σ_x	σ_y	τ_{xy}
	prop	5,00	4,77		prop	5,45	—		—	prop	5,45
0,01	6,45	0,94	2,28	0,01	6,21	—	—	0,01	6,21	6,21	—
0,02	6,97	1,02	2,46	0,02	6,65	—	—	0,02	6,65	6,65	—
0,1	8,45	1,24	2,99	0,1	8,30	—	—	0,1	8,30	8,30	—
0,2	9,18	1,34	3,25	0,2	9,48	—	—	0,2	9,48	9,48	—
0,3	9,60	1,41	3,39	0,3	9,67	—	—	0,3	9,67	9,67	—
0,4	9,92	1,45	3,51	0,4	10,03	—	—	0,4	10,03	10,03	—
0,5	10,17	1,49	3,60	0,5	10,32	—	—	0,5	10,32	10,32	—
max	20,63	3,02	7,29	max	20,60	—	—	max	20,60	20,60	—
<p>$\sigma_x = \sigma \times a$ $\sigma_y = \sigma \times b$ $\tau_{xy} = \sigma \times c$</p> <p>Napężenia σ, τ [$k\theta mm^{-2}$]</p> <p>Materiał : PA 2 N</p> <p>Badania wstępne</p>											

Tablica Nr 4

Seria I		Tablica obciążeń wstępnych				σ_A {			
Nr blachy	Kąt α	Szerokość S [mm]	Grubość [mm]		$\Delta h = \frac{h - h_0}{h - h_0}$	$\varepsilon_h = \frac{\Delta h \cdot 100}{h_0}$ [%]	$F_0 = S \cdot h_0$ [mm ²]	$P = \sigma_A \cdot F_0$	
			Przed odkształ. h_0	Pod odkształ. h				[kg]	[N]
1-1	0°	148,9	2,92	2,916	-0,004	-0,137	434,788	3913,1	38374,40
1-2	0°	150,5	2,94	2,936	-0,004	-0,136	442,470	3982,2	39052,04
2-1	22°30'	159,8	2,93	2,927	-0,003	-0,102	468,214	4213,9	41324,24
2-2	22°30'	159,7	2,94	2,937	-0,003	-0,102	469,518	4225,7	41439,96
3-1	45°	159,3	2,94	2,936	-0,004	-0,136	468,342	4215,1	41336,01
3-2	45°	159,8	2,91	2,905	-0,004	-0,137	465,018	4185,2	41042,79
4-1	67°30'	179,2	2,94	2,937	-0,004	-0,136	526,848	4741,6	46499,21
5-1	90°	148,6	2,91	2,906	-0,004	-0,137	432,426	3891,8	38165,52

Tablica Nr 5

Seria II		Tablica obciążeń wstępnych					$\sigma_B = \begin{cases} 13,0 [kG mm^{-2}] \\ 127,49 [MNm^{-2}] \end{cases}$		
Nr blachy	Kąt α	Szerokość S [mm]	Grubość [mm]		$\Delta h = h - h_0$	$\epsilon_h = \frac{\Delta h \cdot 100}{h_0} [\%]$	$F_0 = S \cdot h_0 [mm^2]$	$P = \sigma_B \cdot F_0$	
			Przed odksz. h_0	po odksz. h				[kG]	[N]
1-3	0°	149,1	2,94	2,900	-0,040	-1,360	438,354	5698,6	55884,17
1-4	0°	149,9	2,93	2,889	-0,041	-1,399	439,207	5709,7	55999,03
2-3	22°30'	159,7	2,95	2,908	-0,042	-1,424	471,115	6124,5	60060,83
2-4	22°30'	160,6	2,94	2,897	-0,043	-1,462	472,164	6138,1	60194,20
3-3	45°	159,2	2,94	2,900	-0,040	-1,360	468,048	6084,6	59669,54
3-4	45°	159,8	2,90	2,858	-0,042	-1,448	463,420	6024,5	59080,46
4-2	67°30'	179,9	2,94	2,897	-0,043	-1,462	528,906	6875,8	67420,56
5-2	90°	179,4	2,93	2,888	-0,042	-1,433	525,642	6833,3	67011,78

Tablica Nr 6

Seria III		Tablica obciążeń wstępnych					$\sigma_c = \begin{cases} 17,0 & [\text{kg mm}^{-2}] \\ 166,74 & [\text{MN m}^{-2}] \end{cases}$		
Nr blachy	Kąt α	Szerokość S [mm]	Grubość [mm]		$\Delta h = h - h_0$	$\epsilon_h = \frac{\Delta h \cdot 100}{h_0} [\%]$	$F_0 = S \cdot h_0$ [mm ²]	$P = \sigma_c \cdot F_0$	
			Przed odksz. h_0	Po odksz. h				[kg]	[N]
1-5	0°	149,5	2,90	2,800	-0,100	-3,448	433,550	7370,3	72277,95
1-6	0°	150,3	2,86	2,760	-0,100	-3,496	429,858	7307,6	71663,07
2-5	22° 30'	158,7	2,90	2,802	-0,098	-3,379	460,230	7823,9	76726,25
2-6	22° 30'	158,7	2,94	2,837	-0,103	-3,503	466,578	7931,8	77784,39
3-5	45°	159,6	2,94	2,837	-0,103	-3,503	469,224	7976,8	78225,68
3-6	45°	159,5	2,89	2,788	-0,102	-3,529	460,955	7836,2	76846,87
4-3	67° 30'	179,5	2,93	2,830	-0,100	-3,413	525,935	8940,9	87680,28
5-3	90°	179,2	2,89	2,791	-0,099	-3,426	517,888	8804,1	86338,73

Seria I		Tablica odkształceń wstępnych			$\sigma_A = 88,26 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$			
Nr blachy	Wymiar a [mm]		$\Delta a = \frac{a - a_0}{a_0} [\%]$	$\epsilon a = \frac{\Delta a \cdot 100}{a_0} [\%]$	Wymiar b [mm]		$\Delta b = \frac{b - b_0}{b_0} [\%]$	$\epsilon b = \frac{\Delta b \cdot 100}{b_0} [\%]$
	Przed odksz. a_0	P_b odksz. a			Przed odksz. b_0	P_b odksz. b		
1-1	160,505	160,848	0,343	0,214	90,481	90,409	-0,072	-0,079
1-2	160,515	160,871	0,356	0,222	90,402	90,327	-0,075	-0,083
2-1	160,438	160,783	0,345	0,215	90,481	90,388	-0,079	-0,087
2-2	160,482	160,797	0,315	0,196	90,065	90,000	-0,065	-0,072
3-1	160,515	160,858	0,343	0,214	90,424	90,353	-0,071	-0,078
3-2	160,517	160,850	0,333	0,207	90,398	90,321	-0,077	-0,085
4-1	160,440	160,763	0,323	0,201	90,482	90,413	-0,069	-0,076
5-1	160,270	160,584	0,314	0,196	90,481	90,407	-0,074	-0,082

Wartości średnie w [%]	
ϵ_a	0,208
ϵ_b	-0,080
ϵ_h	-0,128

Seria II		Tablica odkształceń wstępnych				$\sigma_B = 127,49 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$											
								<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Wartości średniej [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ϵ_a</td> <td>2,199</td> </tr> <tr> <td>ϵ_b</td> <td>-0,807</td> </tr> <tr> <td>ϵ_h</td> <td>-1,418</td> </tr> </tbody> </table>		Wartości średniej [%]		ϵ_a	2,199	ϵ_b	-0,807	ϵ_h	-1,418
Wartości średniej [%]																	
ϵ_a	2,199																
ϵ_b	-0,807																
ϵ_h	-1,418																
Nr blachy	Wymiar a [mm]		$\Delta a = a - a_0$	$\epsilon_a = \frac{\Delta a \cdot 100}{a_0} [\%]$	Wymiar b [mm]		$\Delta b = b - b_0$	$\epsilon_b = \frac{\Delta b \cdot 100}{b_0} [\%]$									
	Przed odksz. a_0	Po odksz. a			Przed odksz. b_0	Po odksz. b											
1-3	160,506	164,030	3,525	2,196	89,410	89,692	-0,718	-0,794									
1-4	160,494	164,036	3,542	2,207	89,414	89,688	-0,726	-0,803									
2-3	160,520	164,040	3,520	2,193	89,425	89,687	-0,738	-0,816									
2-4	160,522	164,077	3,555	2,215	89,401	89,669	-0,732	-0,810									
3-3	160,508	164,045	3,537	2,204	89,394	89,652	-0,742	-0,821									
3-4	160,475	163,977	3,502	2,182	89,391	89,667	-0,724	-0,801									
4-2	160,463	163,966	3,503	2,183	89,420	89,700	-0,720	-0,796									
5-2	160,457	164,007	3,550	2,212	89,426	89,688	-0,738	-0,816									

Seria III		Tablica odkształceń wstępnych			$\bar{\sigma}_c = 166,71 [\text{MNm}^{-2}]$			
					Wartości średnie w [%]			
					ϵ_a	5,750		
					ϵ_b	-2,285		
					ϵ_h	-3,462		
Nr blachy	Wymiar a [mm]		$\Delta a = a - a_0$	$\epsilon a = \frac{\Delta a \cdot 100}{a_0} [\%]$	Wymiar b [mm]		$\Delta b = b - b_0$	$\epsilon b = \frac{\Delta b \cdot 100}{b_0} [\%]$
	Przed odkształc.	Po odkształc.			Przed odkształc.	Po odkształc.		
1-5	160,494	169,668	9,174	5,716	90,471	88,408	-2,063	-2,280
1-6	160,436	169,664	9,228	5,752	90,435	88,384	-2,051	-2,268
2-5	160,467	169,665	9,198	5,732	90,407	88,400	-2,007	-2,220
2-6	160,485	169,605	9,120	5,683	90,443	88,415	-2,028	-2,242
3-5	160,452	169,742	9,290	5,790	90,430	88,949	-2,081	-2,301
3-6	160,402	169,667	9,265	5,776	90,466	88,945	-2,121	-2,344
4-3	160,466	169,803	9,337	5,819	90,438	88,363	-2,075	-2,294
5-3	160,483	169,679	9,196	5,730	90,441	88,332	-2,109	-2,332

Tablica Nr 10

Nr próbki	1-1-4			$\alpha = 0^\circ$			2-2-3			$\alpha = 22,5^\circ$			3-2-6			$\alpha = 45^\circ$		
	a	b	c	σ_x	σ_y	τ_{xy}	a	b	c	σ_x	σ_y	τ_{xy}	a	b	c	σ_x	σ_y	τ_{xy}
σ	6,25	8,00	10,20	6,25	8,00	10,20	6,05	7,20	8,35	5,16	6,15	7,24	6,05	7,20	8,35	5,16	6,15	7,24
prop	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1
0,1	9,95	10,20	10,37	9,95	10,20	10,37	9,16	9,60	10,02	8,19	8,55	8,91	9,16	9,60	10,02	8,19	8,55	8,91
0,2	9,95	10,20	10,37	9,95	10,20	10,37	9,16	9,60	10,02	8,19	8,55	8,91	9,16	9,60	10,02	8,19	8,55	8,91
0,3	10,20	10,37	10,53	10,20	10,37	10,53	9,60	10,02	10,44	8,55	8,91	9,27	9,60	10,02	10,44	8,55	8,91	9,27
0,4	10,37	10,53	10,69	10,37	10,53	10,69	10,02	10,44	10,86	8,91	9,27	9,63	10,02	10,44	10,86	8,91	9,27	9,63
0,5	10,53	10,69	10,86	10,53	10,69	10,86	10,44	10,86	11,28	9,27	9,63	9,99	10,44	10,86	11,28	9,27	9,63	9,99
max	20,80	20,80	20,80	20,80	20,80	20,80	20,62	20,62	17,60	17,60	17,60	17,60	20,62	20,62	17,60	17,60	17,60	17,60
$\alpha = 67,5^\circ$																		
σ	4,50	5,30	5,80	4,66	5,52	6,03	3,95	4,80	5,20	—	—	—	3,95	4,80	5,20	—	—	—
prop	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	—	—	—	0,01	0,02	0,1	—	—	—
0,1	7,40	8,23	8,84	7,40	8,23	8,84	6,32	7,02	7,55	—	—	—	6,32	7,02	7,55	—	—	—
0,2	7,40	8,23	8,84	7,40	8,23	8,84	6,32	7,02	7,55	—	—	—	6,32	7,02	7,55	—	—	—
0,3	8,23	9,35	9,75	8,23	9,35	9,75	7,02	7,98	8,31	—	—	—	7,02	7,98	8,31	—	—	—
0,4	8,23	9,35	9,75	8,23	9,35	9,75	7,02	7,98	8,31	—	—	—	7,02	7,98	8,31	—	—	—
0,5	9,75	10,67	11,28	9,75	10,67	11,28	8,32	9,34	9,84	—	—	—	8,32	9,34	9,84	—	—	—
max	20,67	20,67	20,67	20,67	20,67	20,67	17,64	17,64	17,64	—	—	—	20,72	20,72	20,72	—	—	—
$\alpha = 90^\circ$																		
σ	4,50	5,30	5,80	4,66	5,52	6,03	3,95	4,80	5,20	—	—	—	3,95	4,80	5,20	—	—	—
prop	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,1	—	—	—	0,01	0,02	0,1	—	—	—
0,1	7,40	8,23	8,84	7,40	8,23	8,84	6,32	7,02	7,55	—	—	—	6,32	7,02	7,55	—	—	—
0,2	7,40	8,23	8,84	7,40	8,23	8,84	6,32	7,02	7,55	—	—	—	6,32	7,02	7,55	—	—	—
0,3	8,23	9,35	9,75	8,23	9,35	9,75	7,02	7,98	8,31	—	—	—	7,02	7,98	8,31	—	—	—
0,4	8,23	9,35	9,75	8,23	9,35	9,75	7,02	7,98	8,31	—	—	—	7,02	7,98	8,31	—	—	—
0,5	9,75	10,67	11,28	9,75	10,67	11,28	8,32	9,34	9,84	—	—	—	8,32	9,34	9,84	—	—	—
max	20,67	20,67	20,67	20,67	20,67	20,67	17,64	17,64	17,64	—	—	—	20,72	20,72	20,72	—	—	—

$$\sigma_x = \sigma \times a$$

$$\sigma_y = \sigma \times b$$

$$\tau_{xy} = \sigma \times c$$

Naprężenia σ, τ [k θ mm $^{-2}$]

Obciążenia statyczne

Seria I $\sigma_A = 89,26$ [MNm $^{-2}$]

Tablica Nr 11

Seria WZ-1		Obciążenia zmęczeniowe			Materiał wyjściowy	
Nr blachy		$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0,2$; $k_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_a} = 1,5$ $\alpha = 0$				
$R_r = 20$ [kp mm ⁻²]		Częstotliwość 500 1/min				
Nr próbki	η	$\frac{\sigma_{max}}{\eta R_r}$	σ_{max} [MN m ⁻²]	Liczba cykli do zerwania N	$(1/N) \times 10^5$	log N
z-1-7	0,80	16	156,9064	347 700	0,287	5,5412
z-1-9	0,80	16	156,9064	299 300	0,334	5,4761
z-1-10	0,75	15	147,0998	455 400	0,219	5,6584
z-1-6	0,70	14	137,2931	470 000	0,212	5,6721
z-1-12	0,70	14	137,2931	632 000	0,158	5,8007
z-1-11	0,65	13	127,4864	721 000	0,138	5,8579
z-1-5	0,65	13	127,4864	1 052 000	0,095	6,0220
z-1-4	0,60	12	117,6798	1 194 000	0,083	6,0770
z-1-3	0,60	12	117,6798	1 452 000	0,068	6,1620
z-1-8	0,60	12	117,6798	1 944 000	0,051	6,2887

$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 22^\circ 30'$			$\alpha = 45^\circ$					
Nr próbki	σ_{max}	N	log N	Nr próbki	σ_{max}	N	log N	Nr próbki	σ_{max}	N	log N
1-2-2	15	384600	5,5850	2-1-3	15	475600	5,6772	3-1-6	15	477000	5,6785
1-1-3	14	475500	5,6781	2-2-2	14	507000	5,7050	3-1-4	15	384100	5,5844
1-2-4	14	587400	5,7689	2-2-4	14	676000	5,8299	3-1-3	14	721500	5,8582
1-1-2	13	868600	5,9388	2-2-1	13	917400	5,9628	3-2-3	14	537000	5,7300
1-2-1	13	990800	5,9960	2-1-2	12	1324900	6,1222	3-1-2	13	803000	5,9047
1-2-3	12	1837000	6,2641	2-1-4	12	1672600	6,2234	3-1-5	13	818000	5,9127
1-1-1	12	1195600	6,0776	2-2-3	11	21777600	6,4437	3-2-1	13	4183000	6,0730
1-2-5	11	3068900	6,4807	2-1-1	11	3581000	6,5540	3-2-4	12	2168700	6,3362
								3-1-1	11	* 3390000	6,5302
$\alpha = 67^\circ 30'$			$\alpha = 90^\circ$								
Nr próbki	σ_{max}	N	log N	Nr próbki	σ_{max}	N	log N				
4-1-6	15	245000	5,3892	5-1-4	15	436900	5,6404				
4-1-9	15	395000	5,5966	5-1-3	15	361300	5,5579				
4-1-3	14	544300	5,7358	5-1-5	14	522900	5,7184				
4-1-4	14	742000	5,8704	5-1-9	14	339200	5,5304				
4-1-8	13	935000	5,9708	5-1-2	13	594300	5,7740				
4-1-2	13	1168100	6,0675	5-1-6	13	579200	5,7753				
4-1-5	12	1235500	6,0911	5-1-8	12	818500	5,9130				
4-1-1	12	2093900	6,3083	5-1-1	12	955600	5,9803				
4-1-7	12	1466800	6,1664	5-1-7	11*	3062900	6,4861				

Seria I

$$\sigma_A = 88,26 \text{ [MN m}^{-2}\text{]}$$

* - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 13

Nr próbki	$\alpha = 0^\circ$		Nr próbki	$\alpha = 22^\circ 30'$		Nr próbki	$\alpha = 45^\circ$	
	σ_{max}	N		$\log N$	σ_{max}		N	$\log N$
1-4-2	16	358 000	5,5339	16	294 000	5,4683	16	272 500
1-3-2	15	549 760	5,7402	16	377 600	5,5770	16	422 800
1-3-1	14	676 100	5,8300	15	575 500	5,7600	15	516 200
1-4-1	14	832 200	5,9202	14	767 000	5,8848	15	554 000
1-3-4	13	957 600	5,9812	13	851 500	5,9302	14	576 300
1-4-3	13	1220 300	6,0865	12	1495 500	6,1748	14	94 900
1-4-4	12	2674 200	6,4272	12	2637 000	6,4211	13	106 22 00
1-3-3	11	*320 1400	6,5053	11	* 3093 600	6,4905	13	1620 400

Nr próbki	$\alpha = 67^\circ 30'$		Nr próbki	$\alpha = 90^\circ$				
	σ_{max}	N		$\log N$	σ_{max}	N	$\log N$	
4-2-7	16	488 000	5,2742	16	219 300	5,3290	16	219 300
4-2-10	16	235 800	5,3725	16	116 200	5,0652	16	116 200
4-2-2	15	507 000	5,7050	15	411 900	5,6148	15	411 900
4-2-8	15	515 000	5,7118	14	616 200	5,7897	14	616 200
4-2-1	14	907 000	5,9576	14	789 600	5,8973	14	789 600
4-2-5	14	568 300	5,7547	13	886 500	5,9477	13	886 500
4-2-4	13	1031 000	6,0133	13	834 200	5,9213	13	834 200
4-2-9	13	793 000	5,8993	12	1318 600	6,1201	12	1318 600
4-2-6	12	1986 000	6,2938	12	1706 100	6,2320	12	1706 100
4-2-3	11	*3500 000	6,5441	11	* 3136 000	6,4964	11	* 3136 000

Seria II

$$\sigma_B = 127,49 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$$

* - próbą .przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 14

Nr próbki	$\alpha = 0^\circ$			Nr próbki	$\alpha = 22^\circ 30'$			Nr próbki	$\alpha = 45^\circ$		
	σ_{max}	N	log N		σ_{max}	N	log N		σ_{max}	N	log N
1-5-1	16	597300	5,7762	2-5-1	15	873000	5,9410	3-5-1	16	413000	5,6159
1-6-1	15	760000	5,8808	2-6-1	15	796500	5,9012	3-5-5	15	633000	5,8014
1-6-4	15	998000	5,9991	2-5-2	14	1234000	6,0913	3-6-4	15	915000	5,9614
1-5-2	14	1407200	6,1483	2-6-2	14	1148800	6,0602	3-5-2	15	750900	5,8750
1-6-2	14	1186800	6,0744	2-6-4	13	2450200	6,3892	3-5-6	14	1504200	6,1773
1-5-3	13	1998000	6,3006	2-5-3	13	1798200	6,2548	3-6-1	14	1253600	6,0982
1-6-3	13	1879000	6,2739	2-6-3	13	1329900	6,1258	3-8-5	13	2118900	6,3261
1-5-4	12	3320000	6,5211	2-5-4	12	* 3105000	6,4921	3-5-3	13	1576700	6,1977
1-6-5	12	* 3512700	6,5456	2-6-5	12	3142700	6,4973	3-6-2	13	1717900	6,2360
								3-6-6	12	2540000	6,4048
								3-5-4	12	3168600	6,5006
								3-6-3	12	* 3977300	6,5996
Nr próbki	$\alpha = 67^\circ 30'$			Nr próbki	$\alpha = 90^\circ$			Seria III $\sigma_c = 166,71 [MN m^{-2}]$ * - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki			
σ_{max}	N	log N	σ_{max}		N	log N					
4-3-1	16	358000	5,5539	5-3-1	16	268200	5,4285				
4-3-5	15	639400	5,8058	5-3-5	15	389400	5,5904				
4-3-9	15	573600	5,7586	5-3-9	15	573300	5,7584				
4-3-2	14	898800	5,9537	5-3-2	14	809300	5,9081				
4-3-6	14	932200	5,9695	5-3-6	14	925400	5,9663				
4-3-7	14	1297000	6,1129	5-3-10	13	568900	5,7550				
4-3-3	13	1426600	6,1543	5-3-3	13	1313000	6,1183				
4-3-8	12	* 3226600	6,5087	5-3-7	13	1076600	6,0321				
4-3-10	12	2557000	6,4077	5-3-8	12	* 3230200	6,5172				
4-3-4	12	* 3345500	6,5245	5-3-4	12	* 3120000	6,4942				

Schemat opracowania metodą	wyników najmniej	badan' kwadratów	doświadczalnych
opracowania metodą	wyników najmniej	badan' kwadratów	doświadczalnych
		$\sigma_{\max}^{nk} = a \log N + b$	$a = \frac{n \sum_1^n \sigma_{\max} \log N - \sum_1^n \log N \sum_1^n \sigma_{\max}}{n \sum_1^n (\log N)^2 - \left(\sum_1^n \log N \right)^2}$ $b = \frac{\sum_1^n \sigma_{\max} - a \sum_1^n \log N}{n}$

Tablica Nr 16

L.p	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	[kP]	[MNm ⁻²]				
1	16	156,9064	5,5412	869,44974	30,70488	<p>Materiał wyjściowy</p> <p>$a = -53,226$</p> <p>$b = 446,021$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> $\sigma_{max}^{nk} = -53,226 \cdot \log N + 446,021$ </div>
2	16	156,9064	5,4761	859,23513	29,98765	
3	15	147,0998	5,6584	832,34950	32,01748	
4	14	137,2931	5,6721	778,74019	32,17268	
5	14	137,2931	5,8007	796,39608	33,64830	
6	13	127,4864	5,8579	746,80258	34,31539	
7	13	127,4864	6,0220	767,72310	36,26465	
8	12	117,6798	6,0770	715,14014	36,92990	
9	12	117,6798	6,1620	725,44292	37,97022	
10	12	117,6798	6,2887	740,05295	39,54772	
$n=10$	$\sum_{i=1}^{10} = 137$	$\sum_{i=1}^{10} \sigma_{max} = 1343,511$	$\sum_{i=1}^{10} \log N = 58,5561$	$\sum_{i=1}^{10} \sigma_{max} \log N = 7831,0318$	$\sum_{i=1}^{10} (\log N)^2 = 343,5588$	

Tablica Nr 17

L. p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	MNm^{-2}				
1	15	147,0998	5,5850	821,55238	31,1922	$\sigma_A = 88,26 [\text{MNm}^{-2}]$ $\alpha = 0^\circ$ $a = -41,312$ $b = 374,301$ $\sigma_{max}^{nk} = -41,312 \log N$ $+ 374,301$
2	14	137,2931	5,6781	779,56395	32,2408	
3	14	137,2931	5,7689	792,03046	33,2802	
4	13	127,4864	5,9388	757,41623	35,2693	
5	13	127,4864	5,9960	764,40845	35,9520	
6	12	117,6798	6,2641	737,45803	39,2389	
7	12	117,6798	6,0776	715,21075	36,9372	
8	11	107,8731	6,4867	699,74043	42,0773	
$n=8$	$\sum_{i=1}^8 \frac{1}{i} = 104$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} = 1019,8916$	$\sum_{i=1}^8 \log N = 47,7952$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} \log N = 6066,7801$	$\sum_{i=1}^8 (\log N)^2 = 286,188$	

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kP	$MN m^{-2}$				
1	15	147,0998	5,6772	835,1150	32,2306	$\sigma_A = 88,26 [MN m^{-2}]$ $\alpha = 22^\circ 30'$ $a = -43,153$ $b = 386,742$ $\sigma_{max}^{nk} = -43,153 \log N$ $+ 386,742$
2	14	137,2931	5,7050	783,2571	32,5470	
3	14	137,2931	5,8299	800,4050	33,9877	
4	13	127,4864	5,9626	760,1504	35,5525	
5	12	117,6798	6,1222	720,4593	37,4813	
6	12	117,6798	6,2234	732,3685	38,7307	
7	11	107,8731	6,4437	695,1019	41,5212	
8	11	107,8731	6,5540	707,0003	42,9549	
$n=8$	$\sum_1^8 = 102$	$\sum_1^8 \sigma_{max} = 1000,2783$	$\sum_1^8 \log N = 48,5181$	$\sum_1^8 \sigma_{max} \log N = 6033,8575$	$\sum_1^8 (\log N)^2 = 295,0059$	

Tablica Nr 19

Lp.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	k.p	MN m ⁻²				
1	15	147,0998	5,6785	835,3062	32,2453	$\sigma_A = 88,26 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$ $\alpha = 45^\circ$ $a = -40,575$ $b = 372,386$ $\sigma_{max}^{nk} = -40,575 \log N$ $+ 372,386$
2	15	147,0998	5,5844	821,4641	31,4855	
3	14	137,2931	5,8582	804,2904	34,3185	
4	14	137,2931	5,7300	786,6895	32,8329	
5	13	127,4864	5,9047	752,7689	34,8655	
6	13	127,4864	5,9127	753,7888	34,9600	
7	13	127,4864	6,0730	774,2249	36,8813	
8	12	117,6798	6,3362	745,6427	40,4474	
9	11	107,8731	*6,5302			
$n=8$	$\sum_{i=1}^8 = 109$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} = 1068,9248$	$\sum_{i=1}^8 \log N = 47,0777$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} \log N = 6274,1755$	$\sum_{i=1}^8 (\log N)^2 = 277,4364$	

Tablica Nr 20

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	$MN m^{-2}$				
1	15	147,0998	5,3892	792,7502	29,0435	$\sigma_A = 88,26 [MN m^{-2}]$ $\alpha = 67^\circ 30'$ $a = -38,827$ $b = 360,25$
2	15	147,0998	5,5966	823,2587	31,3219	
3	14	197,2931	5,7358	787,4858	32,8994	
4	14	197,2931	5,8704	805,9654	34,4616	
5	13	127,4864	5,9708	761,1958	35,6508	
6	13	127,4864	6,0675	773,5237	36,8445	
7	12	117,6798	6,0941	716,7994	37,1015	
8	12	117,6798	6,3083	742,3595	39,7946	
9	12	117,6798	6,1664	725,6607	38,0245	
n=9	$\sum_{i=1}^9 kp = 120$	$\sum_{i=1}^9 \sigma_{max} = 1176,798$	$\sum_{i=1}^9 \log N = 53,1961$	$\sum_{i=1}^9 \sigma_{max} \log N = 6928,9992$	$\sum_{i=1}^9 (\log N)^2 = 315,1119$	$\sigma_{max}^{nk} = -38,827 \log N$ $+ 360,25$

Tablica Nr 21

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	k p	MNm^{-2}				
1	15	147,0998	5,6404	829,70171	31,8141	$\sigma_A = 88,26 [MN m^{-2}]$ $\alpha = 90^\circ$ $a = -40,705$ $b = 366,277$ $\sigma_{max}^{nk} = -40,705 \log N$ $+ 366,277$
2	15	147,0998	5,5579	817,56597	30,8902	
3	14	137,2931	5,7184	785,09686	32,7001	
4	14	137,2931	5,5304	759,28576	30,5853	
5	13	127,4864	5,7740	736,10647	33,3391	
6	13	127,4864	5,7153	728,62302	32,6646	
7	12	117,6798	5,9130	695,84065	34,9635	
8	12	117,6798	5,9803	703,7605	35,7640	
9	11	107,8731	6,4861	699,67571	42,0694	
$n=9$	$\sum_1^9 = 119$	$\sum_1^9 \sigma_{max} = 1166,9913$	$\sum_1^9 \log N = 52,3158$	$\sum_1^9 \sigma_{max} \log N = 6755,6563$	$\sum_1^9 (\log N)^2 = 304,7903$	

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{pk}
	kp	$MN m^{-2}$				
1	16	156,9064	5,5539	871,44245	30,8458	$\sigma_B = 127,49 [MN m^{-2}]$ $\alpha = 0^\circ$ $a = -45,414$ $b = 405,987$ $\sigma_{max}^{pk} = -45,414 \log N$ $+ 405,987$
2	45	147,0998	5,7402	844,38227	32,9499	
3	44	137,2931	5,8300	800,41877	33,9889	
4	44	137,2931	5,9202	812,80645	35,0487	
5	13	127,4864	5,9842	762,52165	35,7747	
6	13	127,4864	6,0865	775,94597	37,0454	
7	12	117,6798	6,4272	756,35161	41,3089	
8	11	107,8731	*6,5053	701,74687	42,3189	
$n=7$	$\sum_{i=1}^7 = 97$	$\sum_{i=1}^7 \sigma_{max} = 951,24505$	$\sum_{i=1}^7 \log N = 41,5392$	$\sum_{i=1}^7 \sigma_{max} \log N = 5623,8688$	$\sum_{i=1}^7 (\log N)^2 = 246,9626$	

* - próbę przerwano bez zerwania próbki

Tablica Nr 23

L.p.	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	MNm ⁻²				
1	16	156,9084	5,4683	858,01126	29,90226	$\sigma_B = 127,49 \text{ [MNm}^2\text{]}$ $\alpha = 22^\circ 30'$ $\alpha = -48,782$ $b = 424,523$ $\sigma_{max}^{nk} = -48,782 \log N$ $+ 424,523$
2	16	156,9064	5,5770	875,06699	31,10327	
3	15	147,0998	5,7600	847,29484	33,17759	
4	14	137,2931	5,8848	807,94243	34,63085	
5	13	127,4864	5,9302	756,01984	35,16705	
6	12	117,6798	6,1748	720,64922	38,12813	
7	12	117,6798	6,4211	755,63376	41,23063	
8	11	107,8731	* 6,4905			
n=7	$\sum_1^7 = 98$	$\sum_1^7 \sigma_{max} = 961,0517$	$\sum_1^7 \log N = 41,2162$	$\sum_1^7 \sigma_{max} \log N = 5626,6181$	$\sum_1^7 (\log N)^2 = 243,5398$	

* próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 24

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	Kp	$MN m^{-2}$				
1	16	156,9064	5,4354	852,84904	29,5436	$\sigma_B = 127,49 [MN m^{-2}]$ $\alpha = 45^\circ$ $a = -46,323$ $b = 411,169$ $\sigma_{max}^{nk} = -46,323 \log N$ $+ 411,169$
2	16	156,9064	5,6261	882,77109	31,6530	
3	15	147,0998	5,7128	840,95173	32,6361	
4	15	147,0998	5,7435	844,8677	32,9878	
5	14	137,2931	5,7606	790,89063	33,1845	
6	14	137,2931	5,9740	820,18897	35,6887	
7	13	127,4864	6,0262	768,25854	36,3150	
8	13	127,4864	6,2096	791,63954	38,5594	
9	12	117,6798	6,3079	742,31241	39,7896	
10	12	117,6798	6,4235	755,91619	41,2613	
11	11	107,8731	6,4509	695,87858	41,6141	
12	11	107,8731	*6,4964			
$n=11$	$\frac{11}{1} = 11$	$\frac{11}{1} \sigma_{max} = 1480,8041$	$\frac{11}{1} \log N = 65,6705$	$\frac{11}{1} \sigma_{max} \log N = 8785,9240$	$\frac{11}{1} (\log N)^2 = 393,2331$	

* - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 25

L.p.	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kP	MNm ⁻²				
1	16	156, 9064	5, 2742	827, 55573	27, 0172	$\sigma_s = 127, 49 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$ $\alpha = 67^\circ 30'$ $a = -41, 108$ $b = 376, 903$
2	16	156, 9064	5, 3725	842, 97963	28, 8642	
3	15	147, 0998	5, 7050	839, 20435	32, 5470	
4	15	147, 0998	5, 7118	840, 20463	32, 62465	
5	14	137, 2931	5, 9576	817, 93737	35, 4929	
6	14	137, 2931	5, 7547	790, 0806	33, 11656	
7	13	127, 4864	6, 0133	766, 61396	36, 15975	
8	13	127, 4864	5, 8993	752, 08051	34, 8017	
9	12	117, 6798	6, 2936	740, 62958	39, 6094	
40	11	107, 8734	* 6, 5441			
n=9	$\sum_1^9 = 128$	$\sum_1^9 \sigma_{max} = 1255, 2512$	$\sum_1^9 \log N = 51, 982$	$\sum_1^9 \sigma_{max} \log N = 7217, 2861$	$\sum_1^9 (\log N)^2 = 304, 0334$	$\sigma_{max}^{nk} = -41, 108 \log N$ $+ 376, 903$

* - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

L. p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	$MN \cdot m^{-2}$				
1	16	156,9064	5,3290	836,15420	28,39823	$\sigma_B = 127,49 [MN \cdot m^{-2}]$ $\alpha = 90^\circ$ $\alpha = -38,46$ $b = 358,063$
2	16	156,9064	5,0652	794,76229	25,65624	
3	15	147,0998	5,6148	825,93395	31,52597	
4	14	137,2931	5,7897	794,88386	33,52061	
5	14	137,2931	5,8973	809,65839	34,77812	
6	13	127,4864	5,9477	758,25086	35,37510	
7	13	127,4864	5,9213	754,88522	35,06176	
8	12	117,6798	6,1201	720,21214	37,43559	
9	12	117,6798	6,2320	733,98051	38,83760	
10	11	107,8731	*6,4964			
$n=9$	$\sum_1^9 = 125$	$\sum_1^9 \sigma_{max} = 1225,8312$	$\sum_1^9 \log N = 51,9171$	$\sum_1^9 \sigma_{max} \log N = 7028,1252$	$\sum_1^9 (\log N)^2 = 300,6094$	$\sigma_{max}^{nk} = -38,46 \log N$ $+ 358,063$

* - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 27

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp.	MNm^{-2}				
1	16	156,9064	5,7762	906,32274	33,36448	$\sigma_c = 166,71 [MNm^{-2}]$ $\alpha = 0^\circ$ $a = -51,945$ $b = 455,29$ $\sigma_{max}^{nk} = -51,945 \log N$ $+ 455,29$
2	15	147,0998	5,8808	865,06450	34,58379	
3	15	147,0998	5,9991	882,46641	35,98919	
4	14	137,2931	6,1483	844,11916	37,80156	
5	14	137,2931	6,0744	833,97320	36,89831	
6	13	127,4864	6,3006	803,24081	39,69753	
7	13	127,4864	6,2739	799,83692	39,38180	
8	12	117,6798	6,5211	767,40174	42,52471	
9	12	117,6798	6,5456	770,28489	42,84485	
$n=8$	$\sum_{i=1}^8 = 112$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} = 1098,3448$	$\sum_{i=1}^8 \log N = 48,9744$	$\sum_{i=1}^8 \sigma_{max} \log N = 6702,42521$	$\sum_{i=1}^8 (\log N)^2 = 300,22137$	* - próbę przerwano przed zniszczeniem próbki

Tablica Nr 28

L.p.	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kP	MNm ⁻²				
1	15	147,0998	5,9440	873,91991	35,29548	$\sigma_c = 166,71 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$ $\alpha = 22^\circ 30'$ $\alpha = -46,411$ $b = 419,387$ $\sigma_{max}^{nk} = 46,411 \log N$ $+ 419,387$
2	15	147,0998	5,9012	868,06533	34,82413	
3	14	137,2931	6,0913	836,29346	37,10391	
4	14	137,2931	6,0602	832,02364	36,72600	
5	13	127,4864	6,3892	814,53810	40,82185	
6	13	127,4864	6,2548	797,40193	39,12250	
7	13	127,4864	6,1238	780,70121	37,50090	
8	12	117,6798	*6,4921	763,98902	42,14734	
9	12	117,6798	6,4973	764,60096	42,21488	
$n=8$	$\frac{\sum kP}{1} = 109$	$\frac{\sum \sigma_{max}}{1} = 1068,9248$	$\frac{\sum \log N}{1} = 49,2588$	$\frac{\sum \sigma_{max} \log N}{1} = 6567,54228$	$\frac{\sum (\log N)^2}{1} = 303,60963$	

Tablica Nr 29

L.p.	σ_{max}		$\log N$	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	MNm^{-2}				
1	16	156,9064	5,6159	881,17065	31,53831	$\sigma_c = 166,71 [MNm^{-2}]$ $\alpha = 45^\circ$ $a = -46,722$ $b = 420,913$ $\sigma_{max}^{nk} = -46,722 \log N$ $+ 420,913$
2	15	147,0998	5,8014	853,38477	33,65623	
3	15	147,0998	5,9614	876,92074	35,53826	
4	15	147,0998	5,8756	864,29958	34,52265	
5	14	137,2931	6,1773	848,10066	38,15901	
6	14	137,2931	6,0982	837,24078	37,18801	
7	13	127,4864	6,3261	806,49171	40,01952	
8	13	127,4864	6,1977	790,12246	38,41146	
9	13	127,4864	6,2350	794,87770	38,87521	
10	12	117,6798	6,4048	753,71948	41,02186	
11	12	117,6798	6,5006	764,98930	42,25778	
12	12	117,6798	^{**} 6,5996	776,63960	43,55470	
$n=11$	$\sum_{i=1}^{11} = 152$	$\sum_{i=1}^{11} \sigma_{max} = 1490,6108$	$\sum_{i=1}^{11} \log N = 67,1940$	$\sum_{i=1}^{11} \sigma_{max} \log N = 9071,3174$	$\sum_{i=1}^{11} (\log N)^2 = 411,1883$	

Tablica Nr 30

L.p.	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	kp	MNm ⁻²				
1	10	156, 9064	5, 5539	871, 44245	30, 84579	$\sigma_c = 166, 71 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$ $\alpha = 67^\circ 30'$ $a = -45, 203$ $b = 408, 134$ $\sigma_{max}^{nk} = -45, 203 \log N$ $+ 408, 134$
2	15	147, 0998	5, 8058	854, 03201	33, 70729	
3	15	147, 0998	5, 7586	847, 08890	33, 16147	
4	14	137, 2931	5, 9537	817, 40192	35, 44652	
5	14	137, 2931	5, 9695	819, 57116	35, 63491	
6	14	137, 2931	6, 1129	839, 25899	37, 36701	
7	13	127, 4864	6, 1543	784, 58955	37, 87539	
8	12	117, 6798	*6, 5087	765, 94251	42, 36314	
9	12	117, 6798	6, 4077	754, 05685	41, 05861	
10	12	117, 6798	*6, 5245	767, 80185	42, 56907	
$n=8$	$\sum_1^8 = 113$	$\sum_1^8 \sigma_{max} = 1108, 1514$	$\sum_1^8 \log N = 47, 7164$	$\sum_1^8 \sigma_{max} \log N = 6587, 4414$	$\sum_1^8 (\log N)^2 = 285, 09749$	

Tablica Nr 31

L.p	σ_{max}		log N	$\sigma_{max} \log N$	$(\log N)^2$	σ_{max}^{nk}
	k p	MNm ⁻²				
1	16	156,9064	5,4285	851,76639	29,4686	$\sigma_c = 166,71 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$ $\alpha = 90^\circ$ $a = -38,981$ $b = 366,600$ $\sigma_{max}^{nk} = -38,981 \log N$ $+ 366,600$
2	15	147,0998	5,5904	822,34672	31,25256	
3	15	147,0998	5,7584	847,05948	33,15916	
4	14	137,2931	5,9081	811,14136	34,90562	
5	14	137,2931	5,9663	819,13182	35,59671	
6	14	137,2931	5,7950	790,12179	33,12001	
7	13	127,4864	6,1183	780,00004	37,43345	
8	13	127,4864	6,0321	769,01071	36,38621	
9	12	117,6798	* 6,5172	766,94279	42,47387	
10	12	117,6798	* 6,4942	764,23615	42,17461	
$n=8$	$\sum_1^2 = 114$	$\sum_1^2 \sigma_{max} = 1117,9581$	$\sum_1^2 \log N = 46,5571$	$\sum_1^2 \sigma_{max} \log N = 6491,4296$	$\sum_1^2 (\log N)^2 = 271,3220$	

α	Wartości ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej Z_{ϵ}° dla $\log N = 5,5$			$K = \frac{Z_{\epsilon}^{\circ}}{Z_{(\epsilon=0)}^{\circ}} \cdot 100 [\%]$			Uwagi
	σ_A	σ_B	σ_C	σ_A	σ_B	σ_C	
0°	147,08	155,61	167,00	95,955	101,520	108,951	$Z_{(\epsilon=0)}^{\circ} = 153,28$ [MNm ⁻²]
22,5°	149,41	156,22	164,00	97,475	101,918	106,994	
45°	149,50	156,39	163,94	97,533	102,029	106,955	
67,5°	146,70	150,81	159,52	95,707	98,389	104,071	
90°	140,25	146,53	152,20	91,499	95,596	99,295	

Tablica Nr 33

α	Wartości ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej Z_{ϵ}° dla $N=10^6$			$K = \frac{Z_{\epsilon}^{\circ}}{Z_{(\epsilon=0)}^{\circ}} \cdot 100 [\%]$			Uwagi
	σ_A	σ_B	σ_C	σ_A	σ_B	σ_C	
0°	126,43	132,90	142,25	99,918	104,927	112,309	$Z_{(\epsilon=0)}^{\circ} =$ $= 126,66$ [MN m ⁻²]
$22^{\circ}30'$	127,83	131,83	140,75	100,924	104,082	111,124	
45°	129,00	133,23	140,58	101,847	105,187	110,990	
$67^{\circ}30'$	127,29	130,26	136,92	100,497	102,842	108,100	
90°	122,25	127,30	132,71	96,518	100,505	104,777	

Tablica Nr 34

Współrzędne plastycznego		linii wpływu odkształcenia			$\sigma_A = 88,26 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$			Uwagi
Nr próbki	α	$\log N$	K	K_x	K_y	K_{xy}		
1	0°	5,5	95,955	95,955	—	—	$K_x = K \cdot a$ $K_y = K \cdot b$ $K_{xy} = K \cdot c$	
		6,0	99,918	99,918	—	—		
2	22,5°	5,5	97,475	83,200	14,275	34,462	$a = 1,0$ $b = 0,0$ $c = 0,0$	
		6,0	100,924	86,144	14,780	35,682		
3	45°	5,5	97,533	48,766	48,766	48,766	$a = 0,85355$ $b = 0,14645$ $c = 0,35355$	
		6,0	101,847	50,923	50,923	50,923		
4	67,5°	5,5	95,707	14,016	81,691	33,837	$a = 0,5$ $b = 0,5$ $c = 0,5$	
		6,0	100,497	14,718	85,779	35,531		
5	90°	5,5	91,499	—	91,499	—	$a = 0,0$ $b = 1,0$ $c = 0,0$	
		6,0	96,518	—	96,518	—		

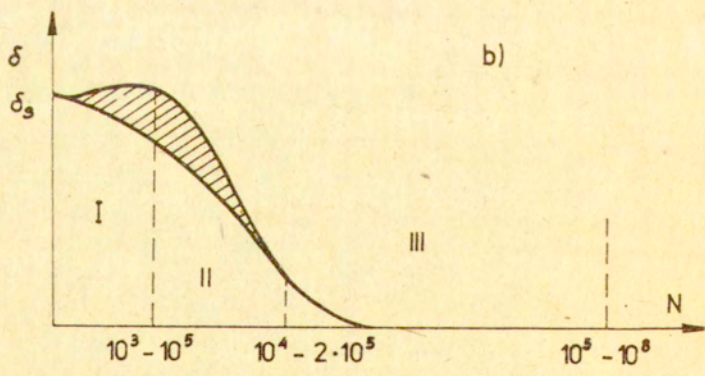
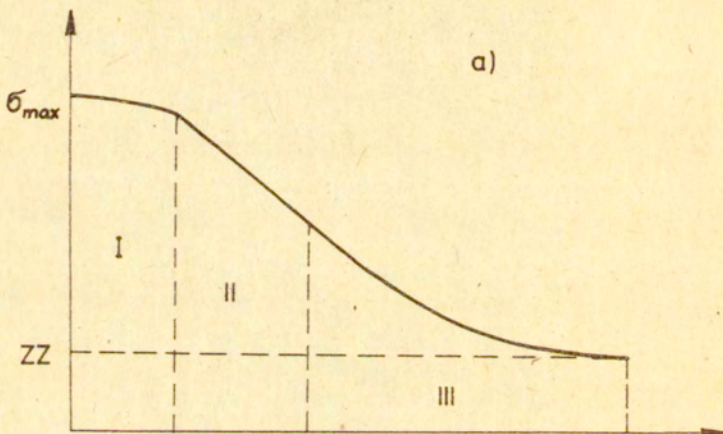
Tablica Nr 35

Nr próbki	α	log N	linii wpływu odkształcenia			$\sigma_B \approx 127,49 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$			Uwagi
			K	K_x	K_y	K_{xy}	K_x	K_y	
1	0°	5,5	101,520	101,520	—	—	—	—	$K_x = K \cdot a$ $K_y = K \cdot b$ $K_{xy} = K \cdot c$
		6,0	104,927	104,927	—	—	—	—	
2	22,5°	5,5	101,918	86,992	14,926	36,033	—	—	$a = 1,0$ $b = 0,0$ $c = 0,0$
		6,0	104,082	88,839	15,243	36,798	—	—	
3	45°	5,5	102,029	51,014	51,014	51,014	—	—	$a = 0,85355$ $b = 0,14645$ $c = 0,35355$
		6,0	105,187	52,593	52,593	52,593	—	—	
4	67,5°	5,5	98,389	14,409	83,980	34,785	—	—	$a = 0,14645$ $b = 0,85355$ $c = 0,35355$
		6,0	102,842	15,061	87,781	36,360	—	—	
5	90°	5,5	95,596	—	95,596	—	—	—	$a = 0,0$ $b = 1,0$ $c = 0,0$
		6,0	100,505	—	100,505	—	—	—	

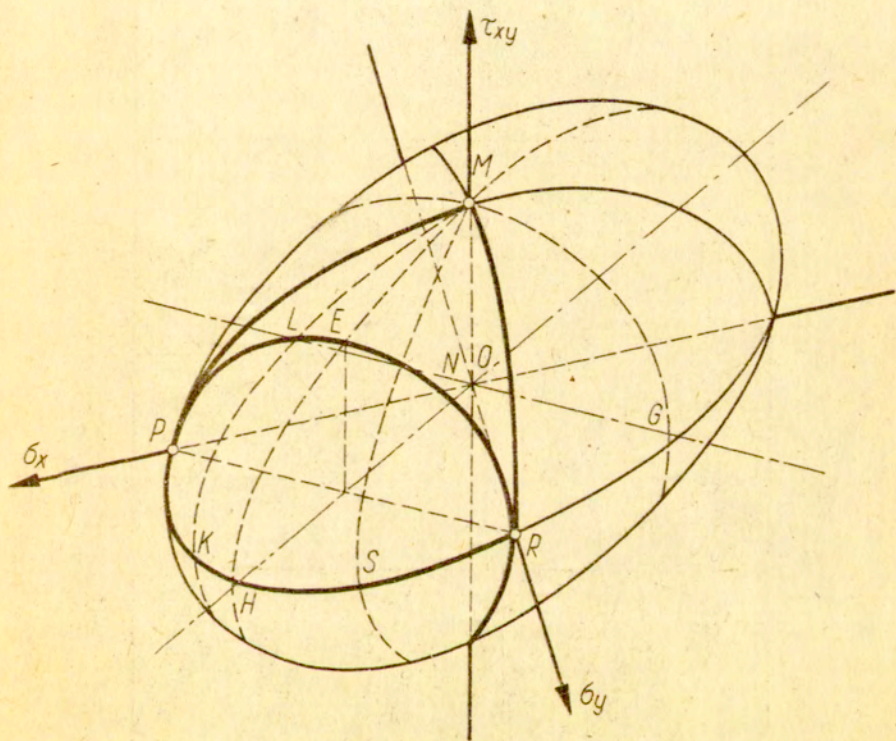
Tablica Nr 36

Współrzędne plastycznego		linii wpływu odkształcenia			$\sigma_c = 166,71 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$			Uwagi
Nr próbki	α	$\log N$	K	K_x	K_y	K_{xy}		
1	0°	5,5	108,951	108,951	—	—	$K_x = K \cdot a$ $K_y = K \cdot b$ $K_{xy} = K \cdot c$	
		6,0	112,309	112,309	—	—		
2	22,5°	5,5	106,994	91,325	15,669	37,828	$a = 0,85355$ $b = 0,14645$ $c = 0,35355$	
		6,0	111,124	94,850	16,274	39,288		
3	45°	5,5	106,955	53,477	53,477	53,477	$a = 0,5$ $b = 0,5$ $c = 0,5$	
		6,0	110,990	55,495	55,495	55,495		
4	67,5°	5,5	104,071	15,241	88,830	56,794	$a = 0,14645$ $b = 0,85355$ $c = 0,35355$	
		6,0	108,100	15,831	92,269	98,219		
5	90°	5,5	99,295	—	99,295	—	$a = 0,0$ $b = 1,0$ $c = 0,0$	
		6,0	104,777	—	104,777	—		

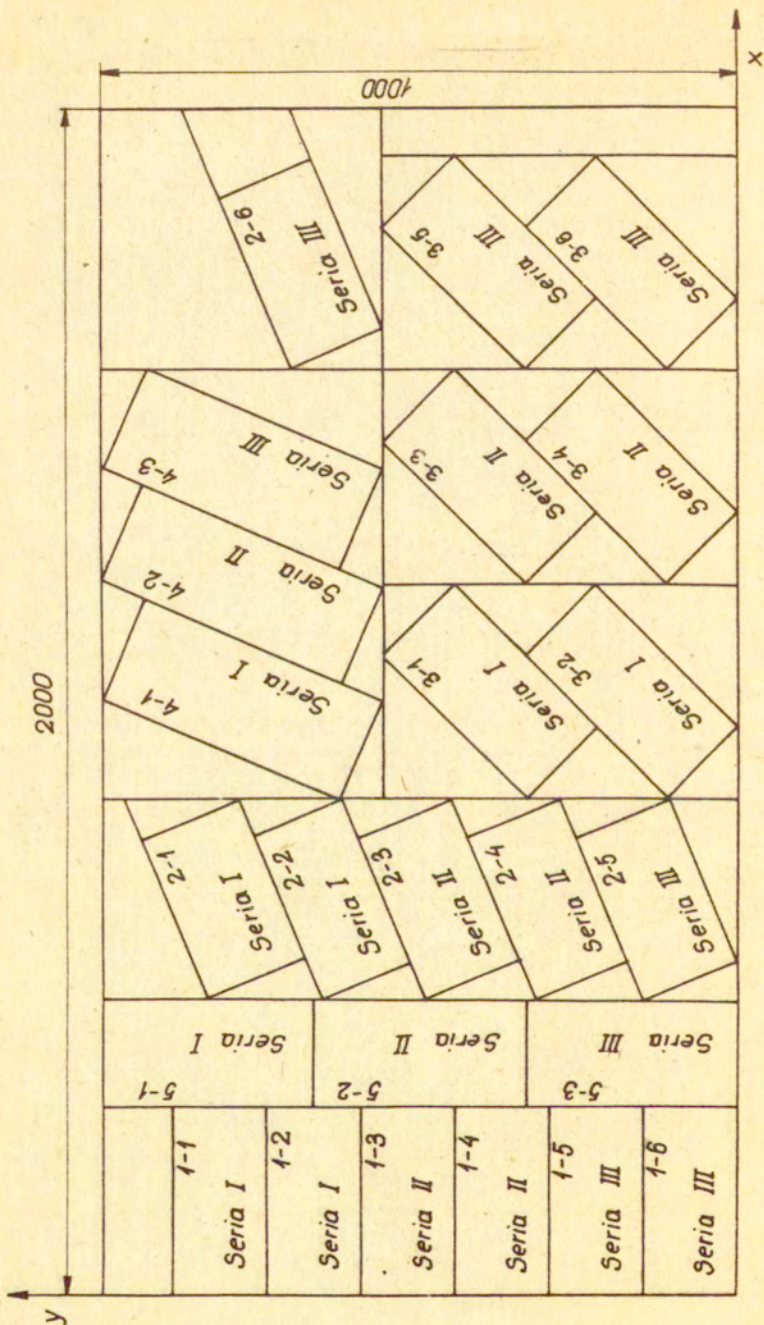
6. Rysunki 1 - 45

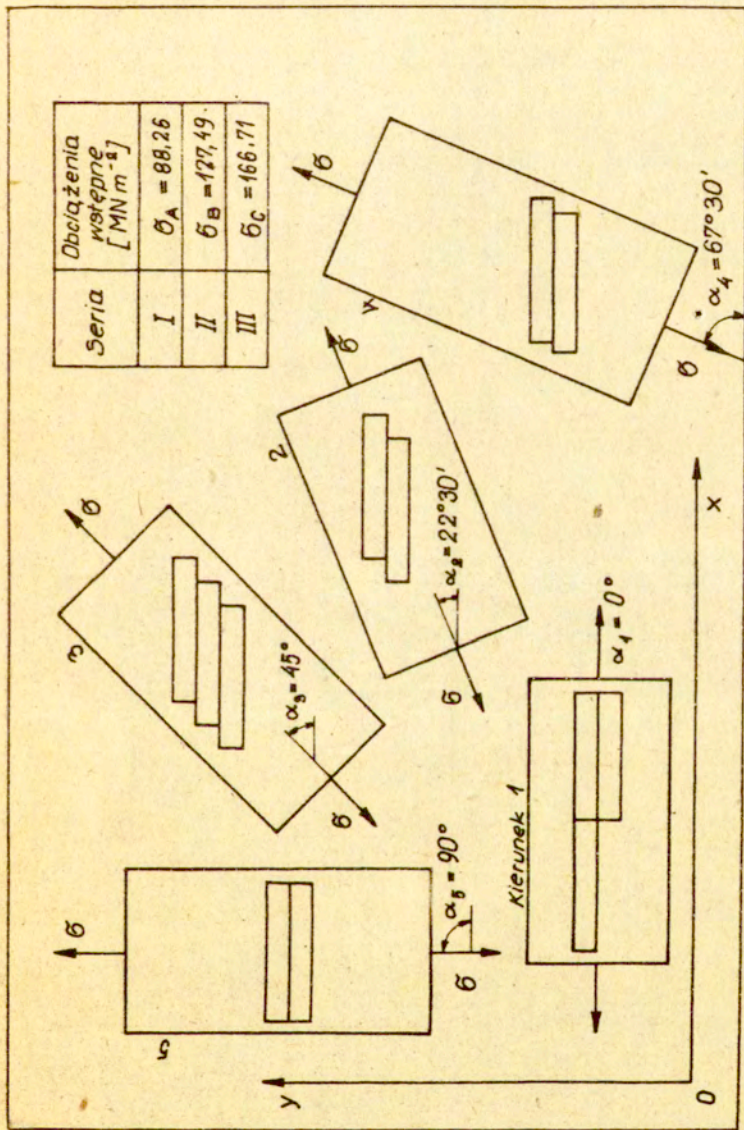


Rys. 1

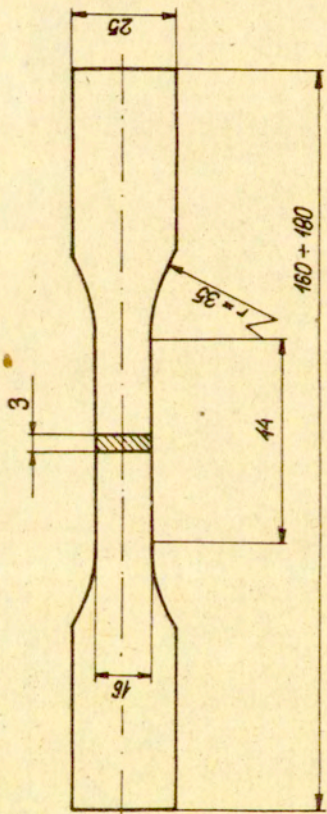


Rys. 2.

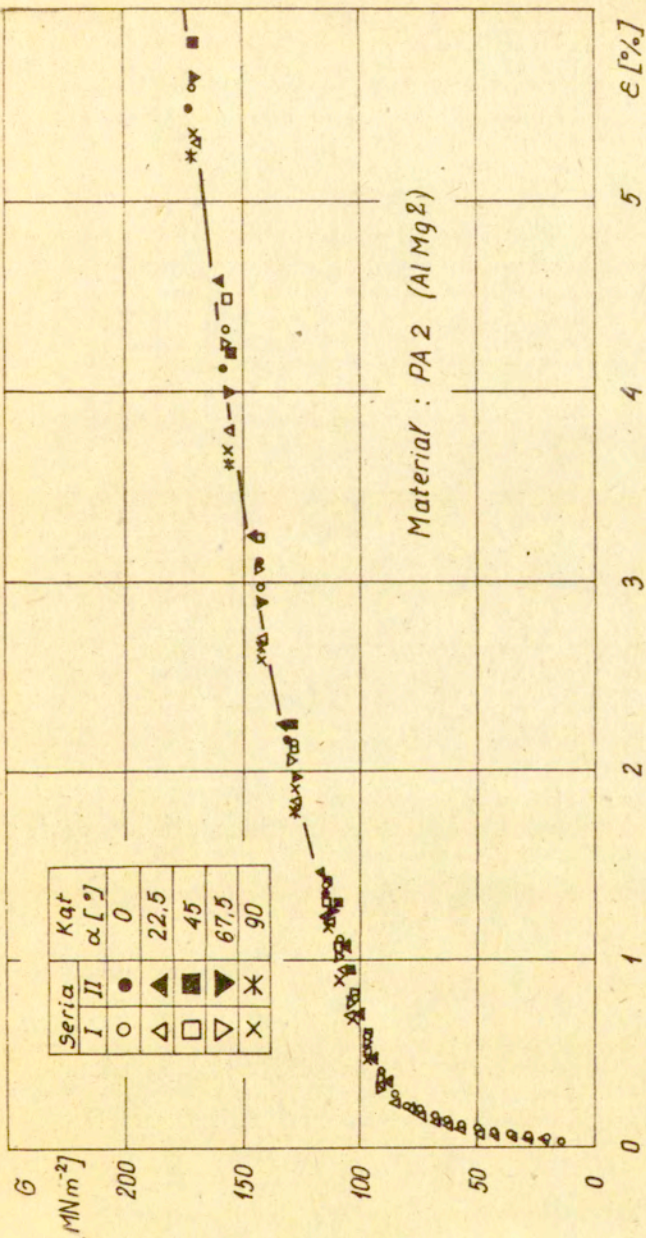




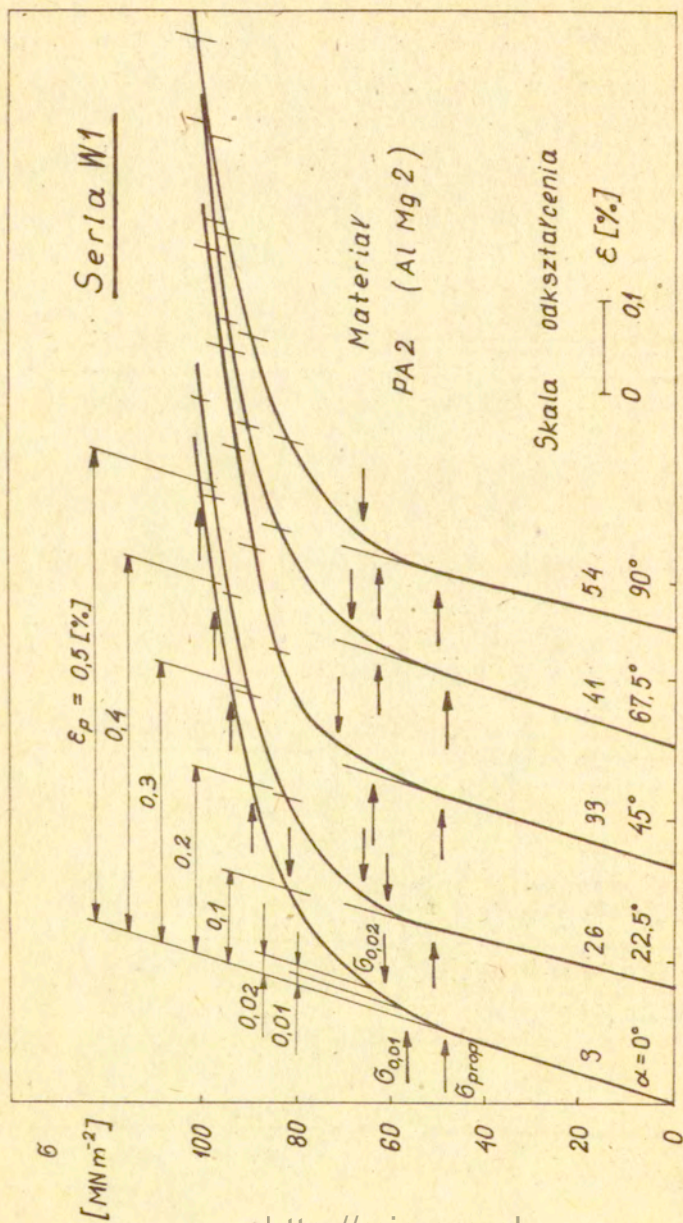
Rys. 4



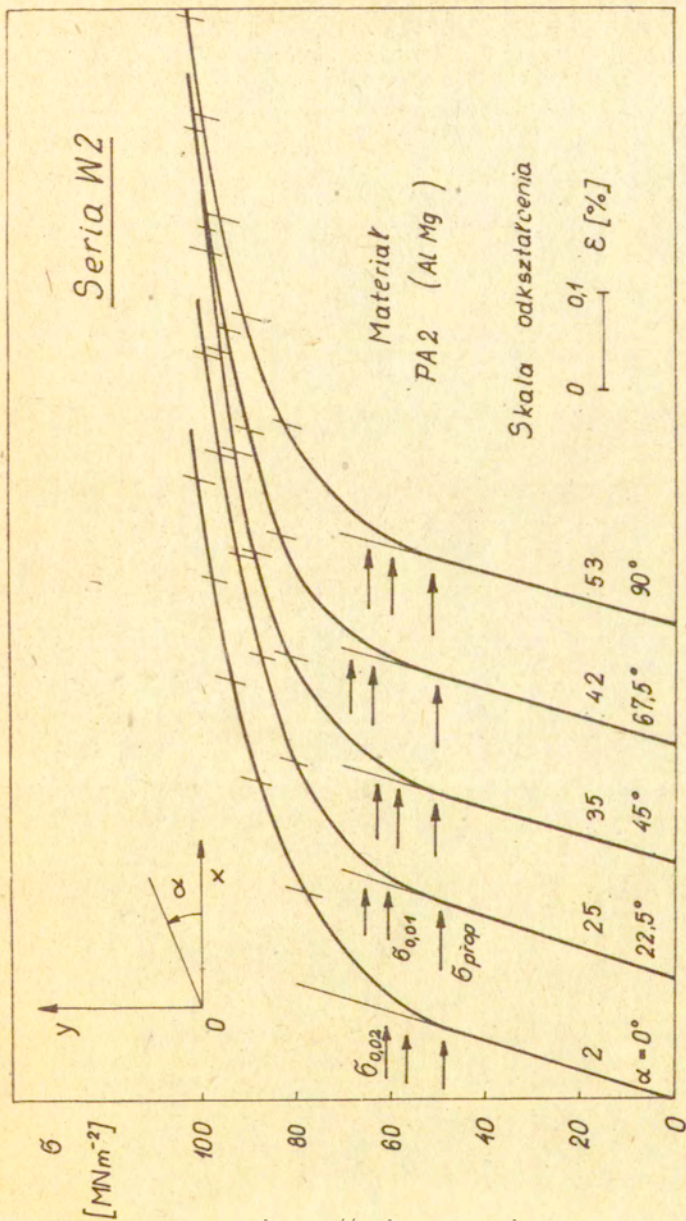
Rys. 5



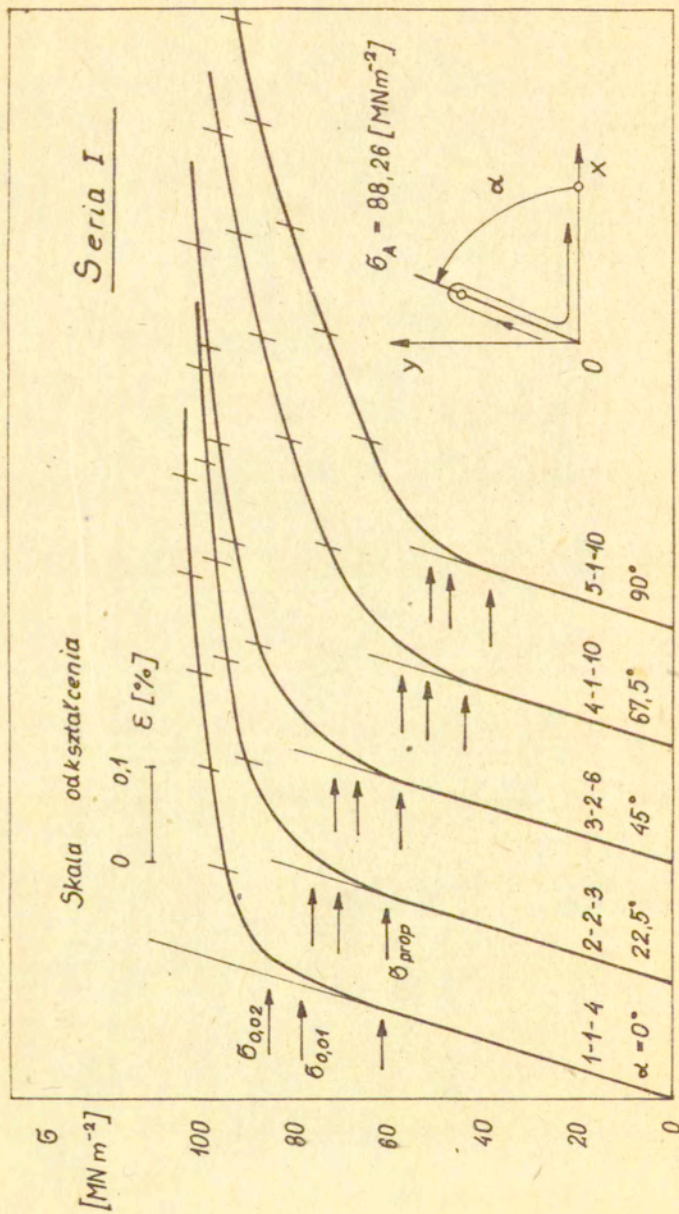
Rys. 6



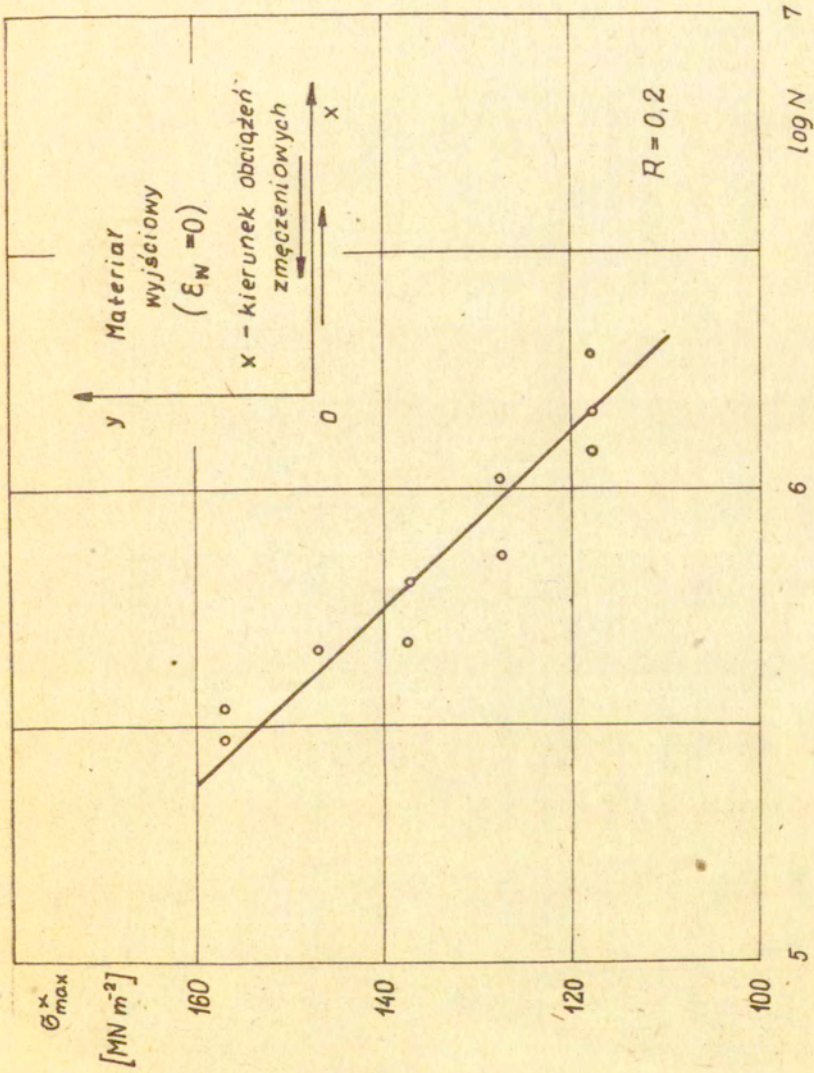
Rys. 7



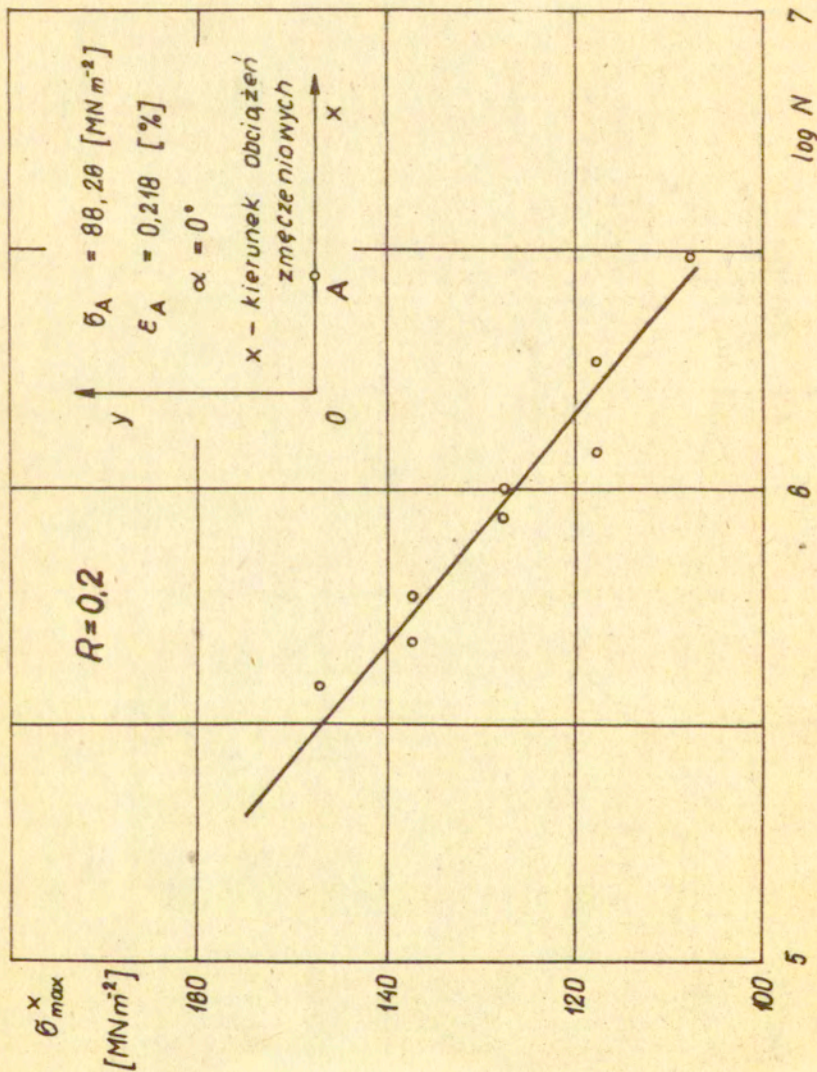
Rys. 8



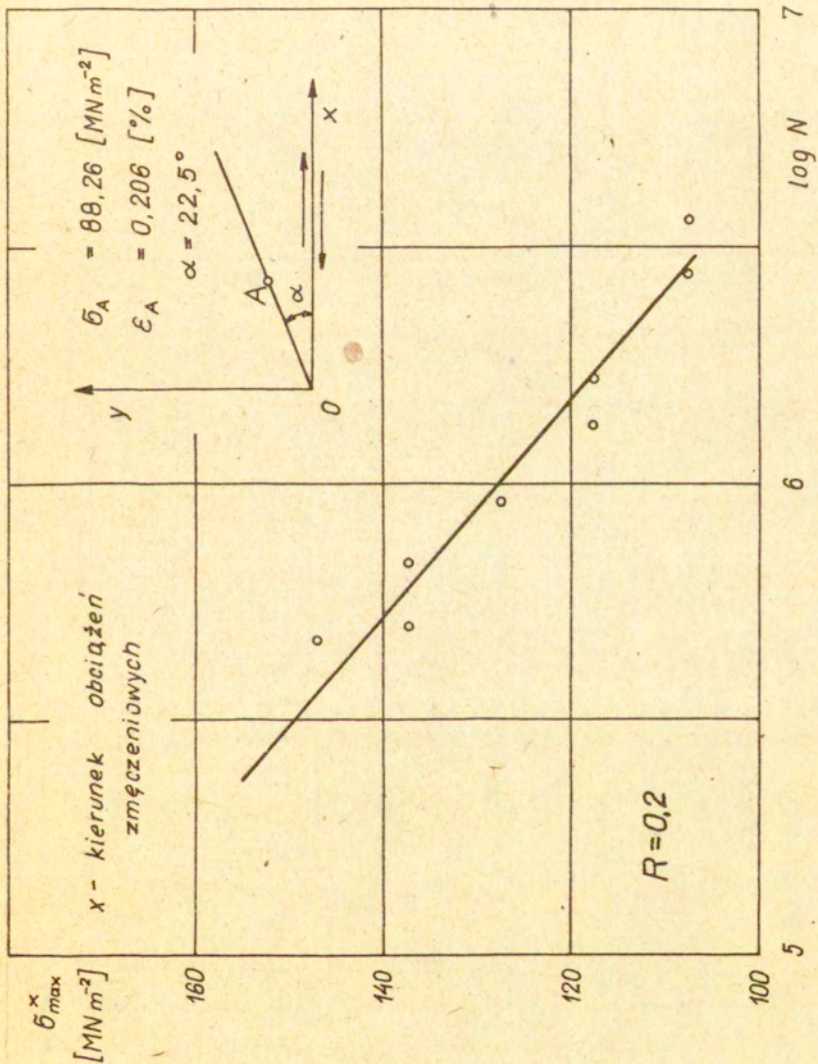
Rys. 9



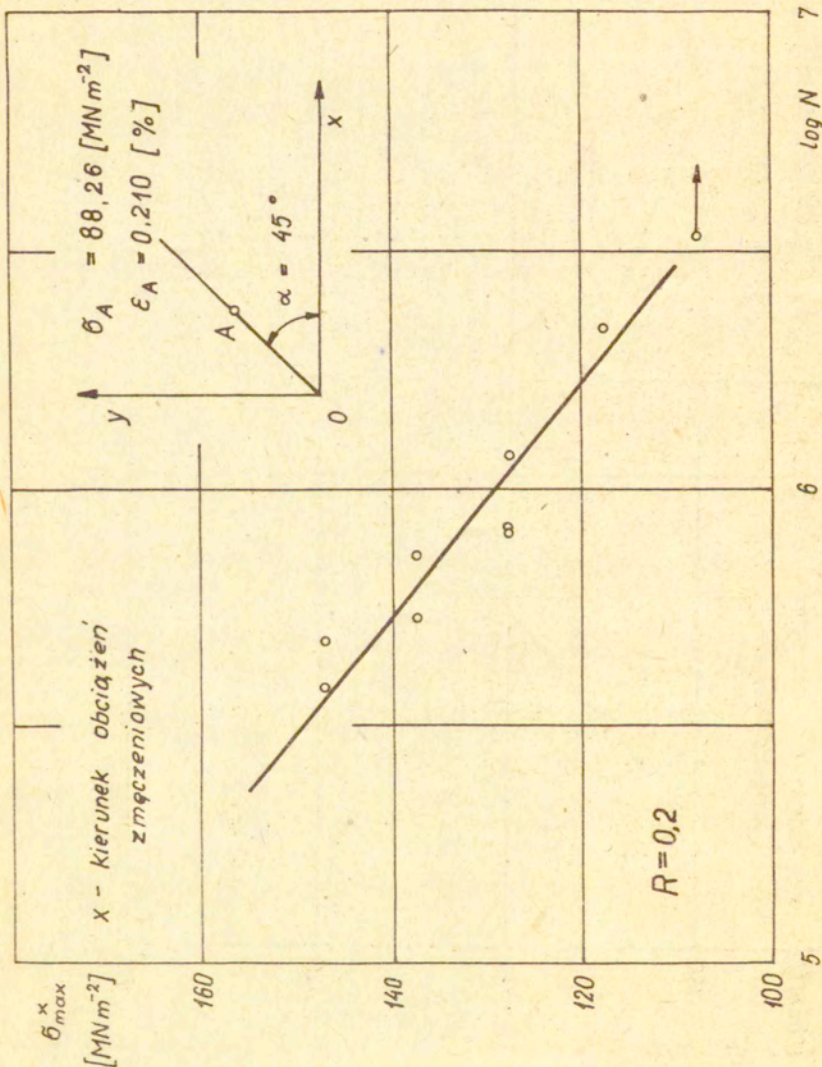
Rys. 10



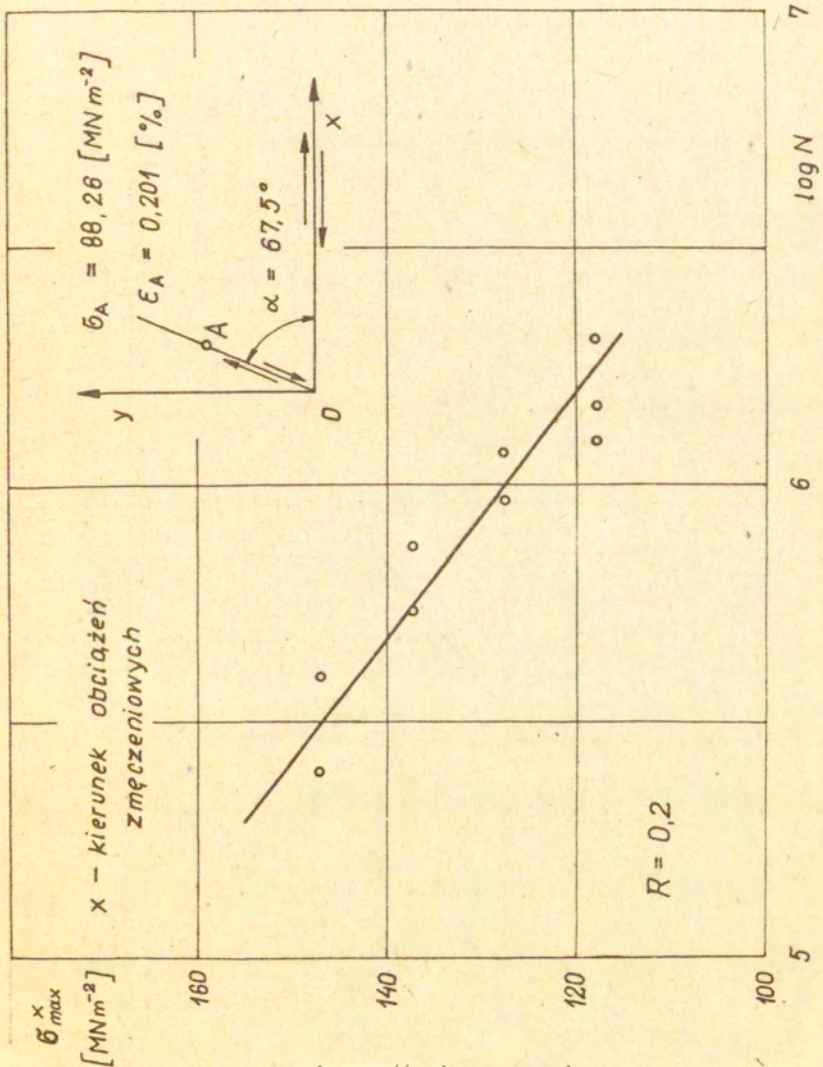
Rys. 11



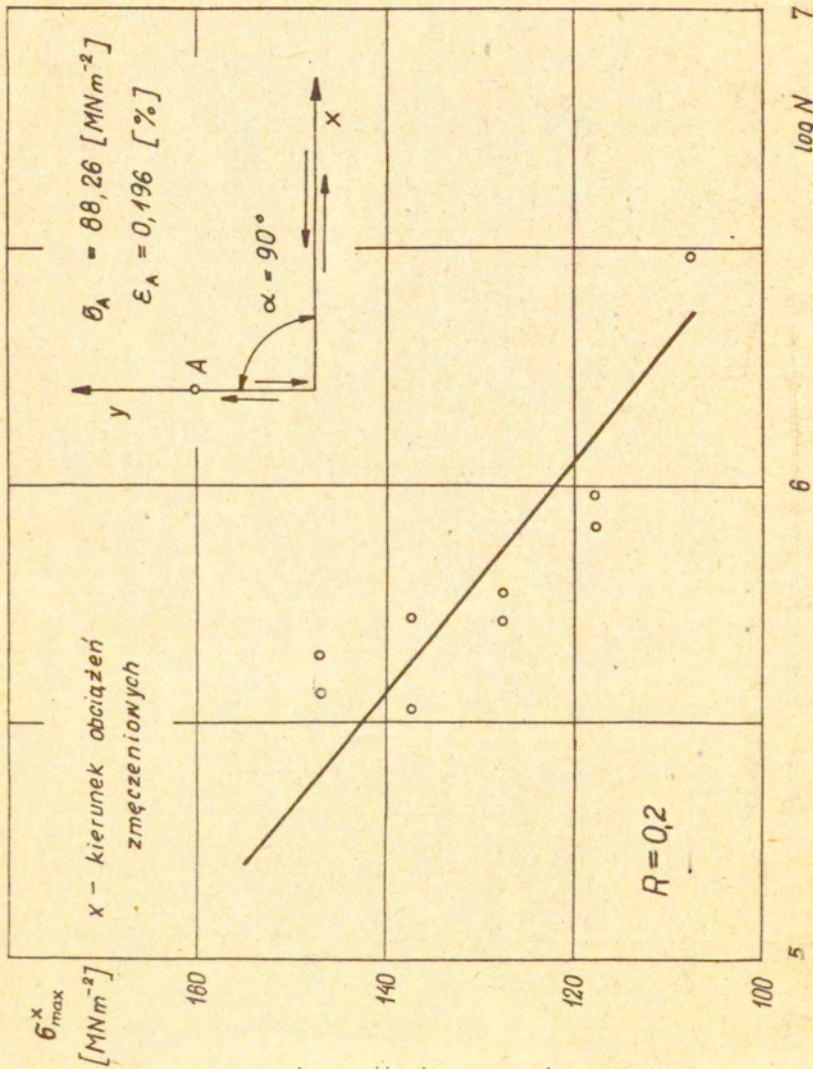
Rys. 12



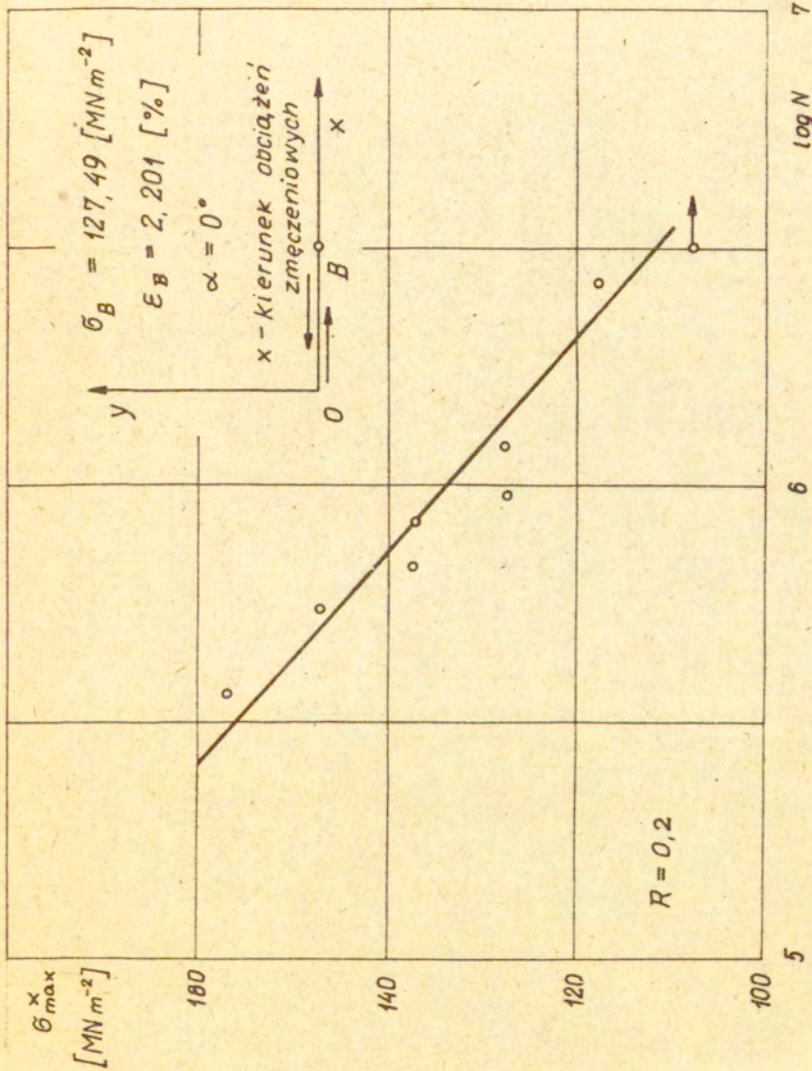
Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15

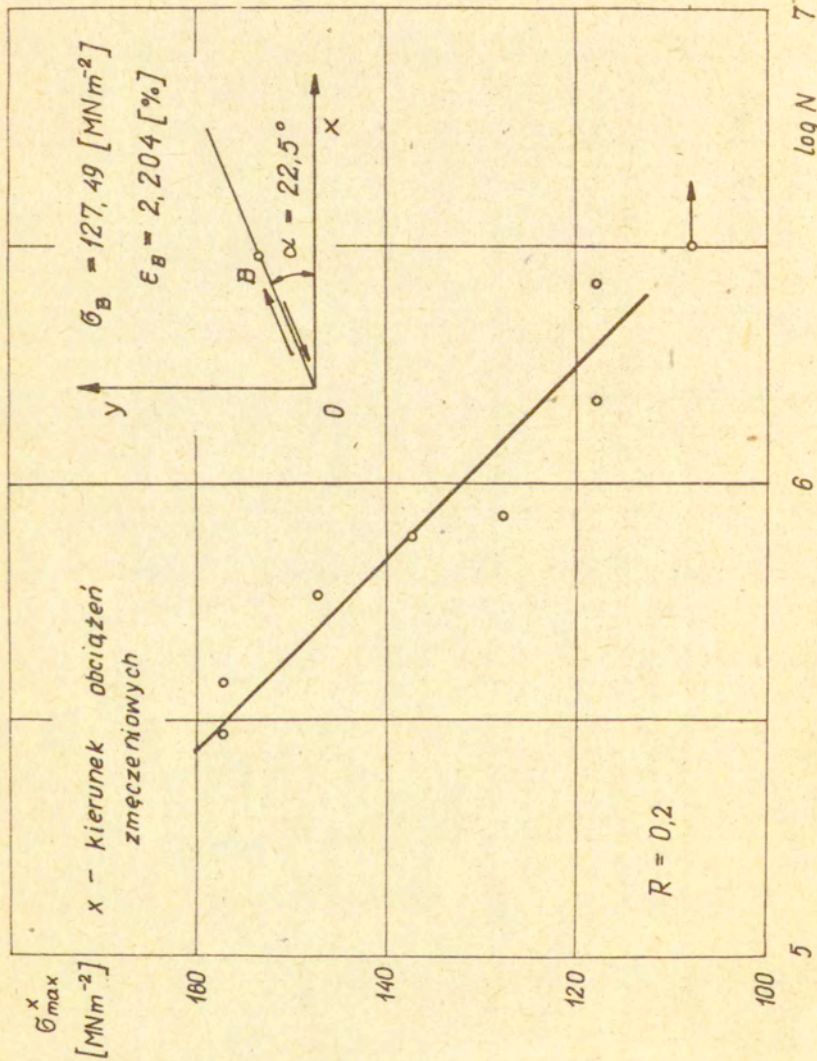


6

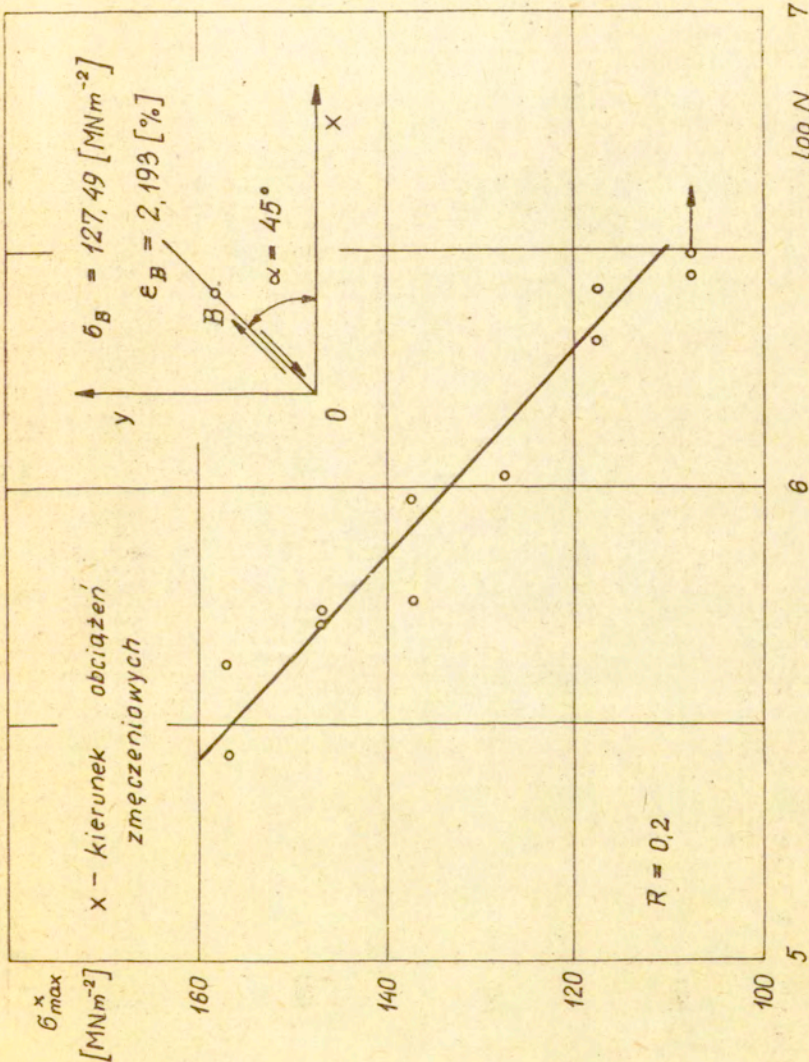
log N

7

Rys. 16



Rys. 17

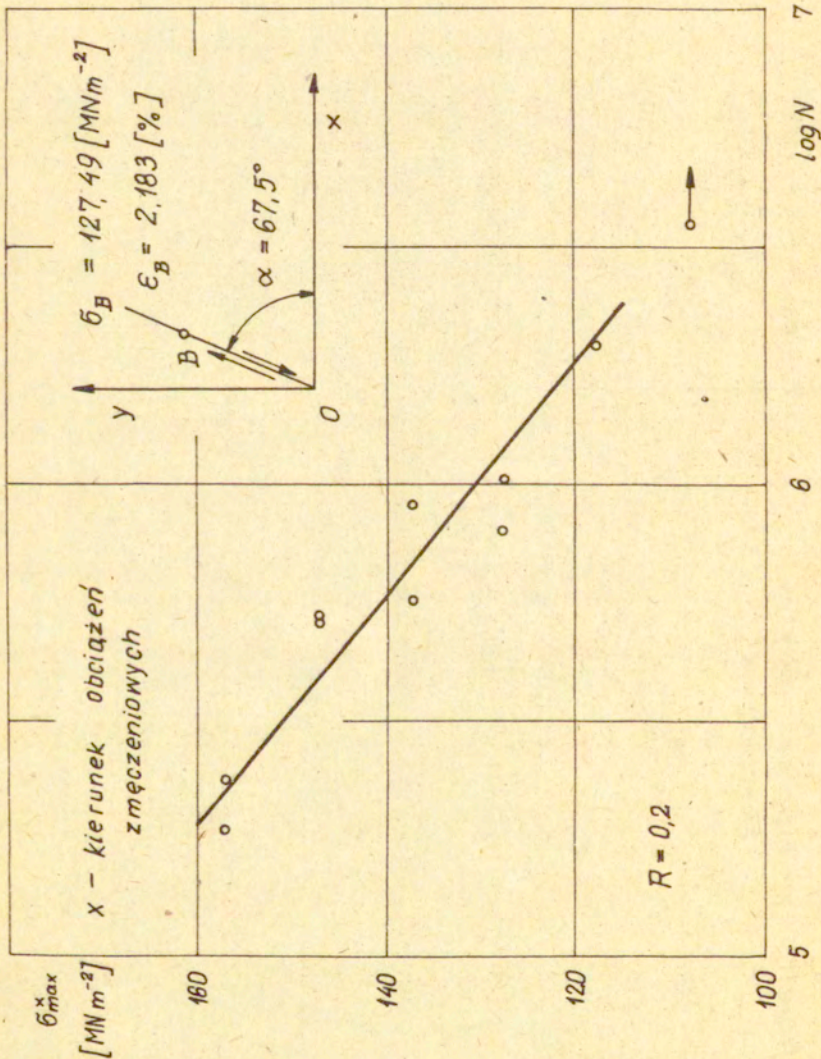


log N 7

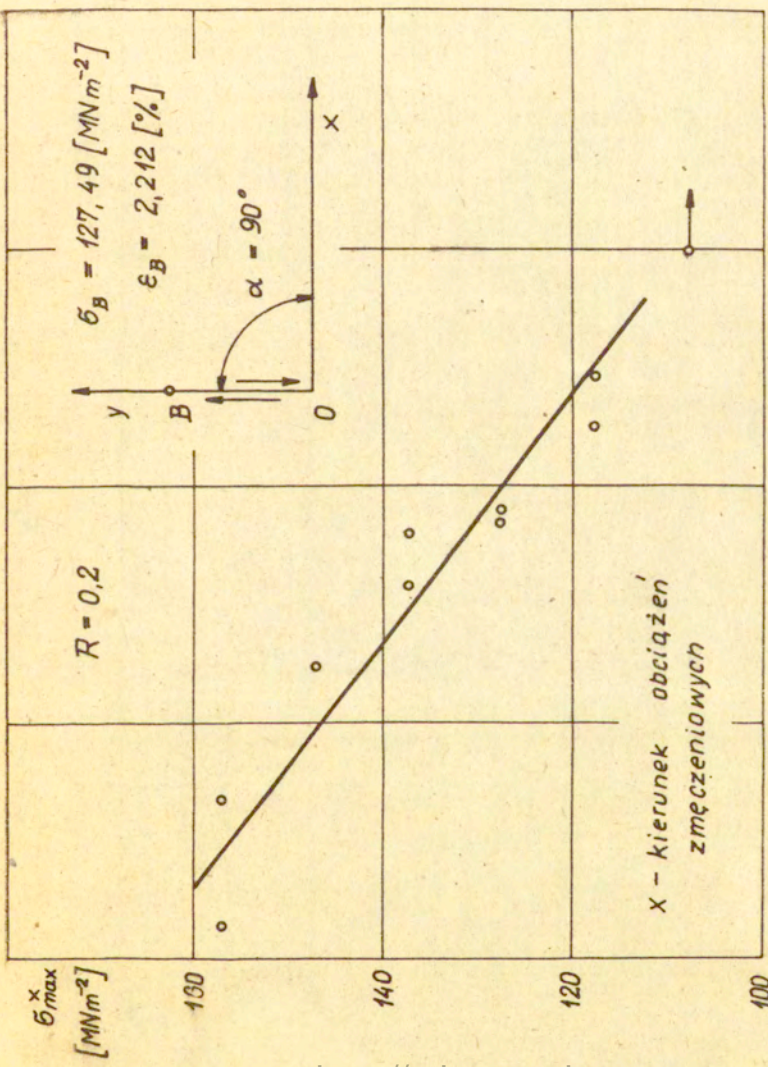
6

5

Rys. 18



Rys. 19

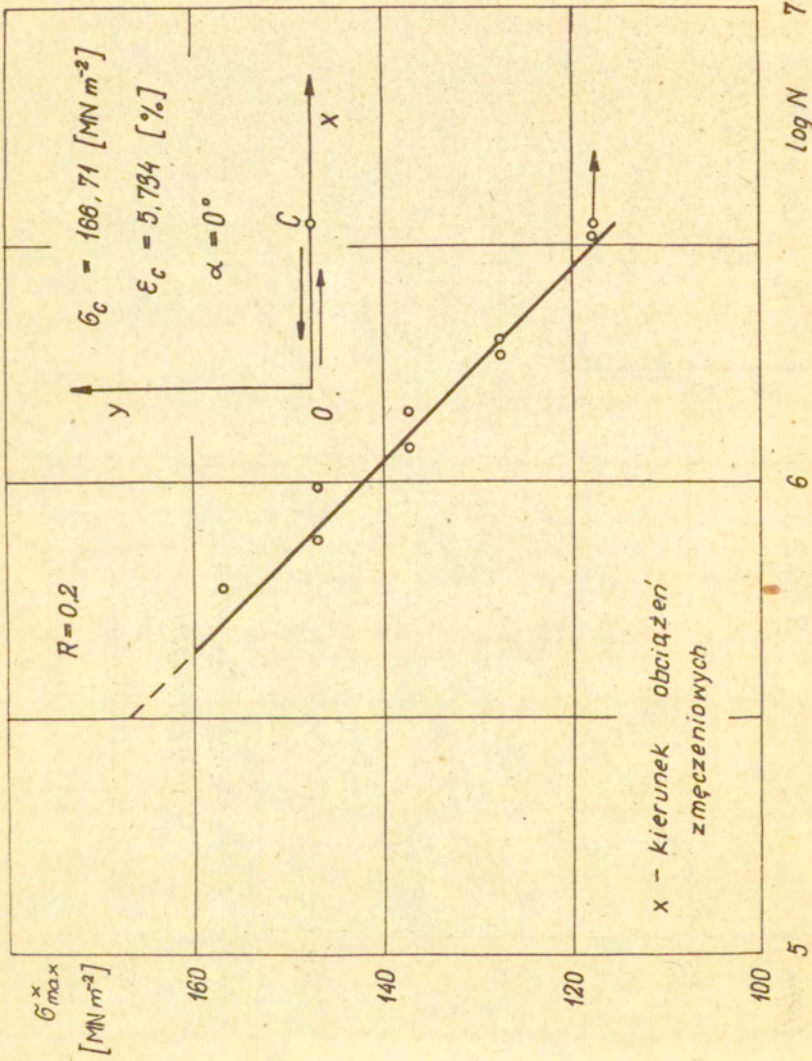


log N 7

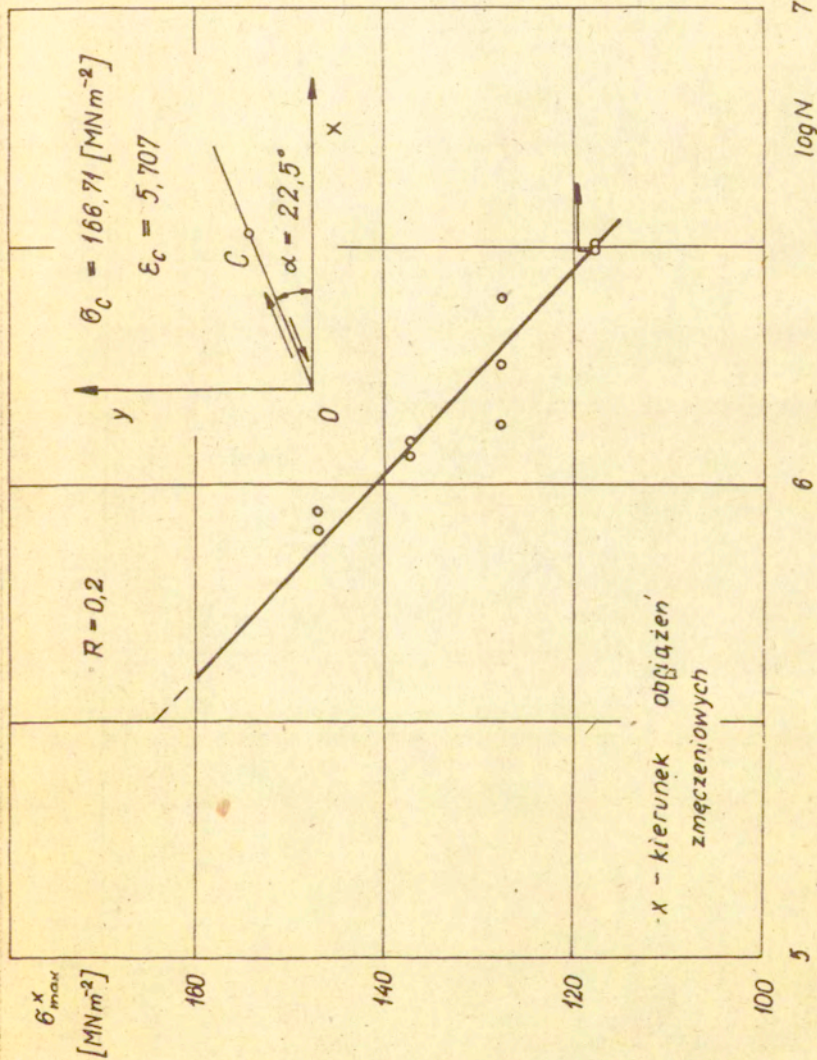
6

Rys. 20

5

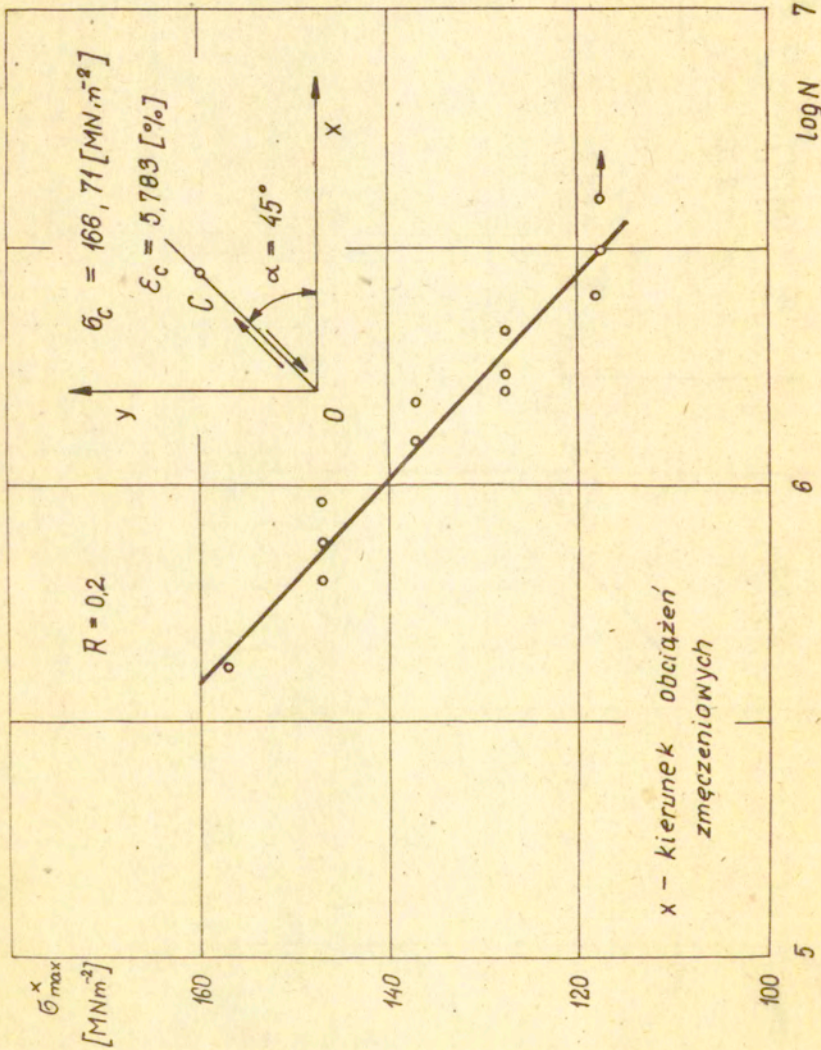


Rys. 21

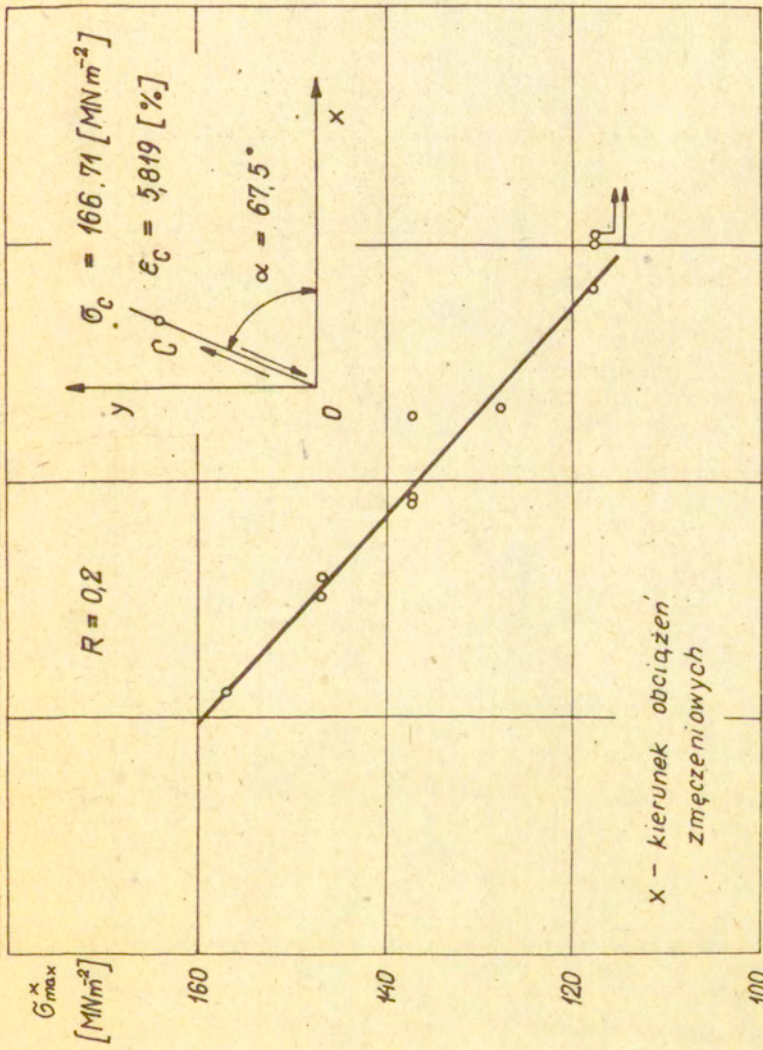


6

Rys. 22



Rys. 23

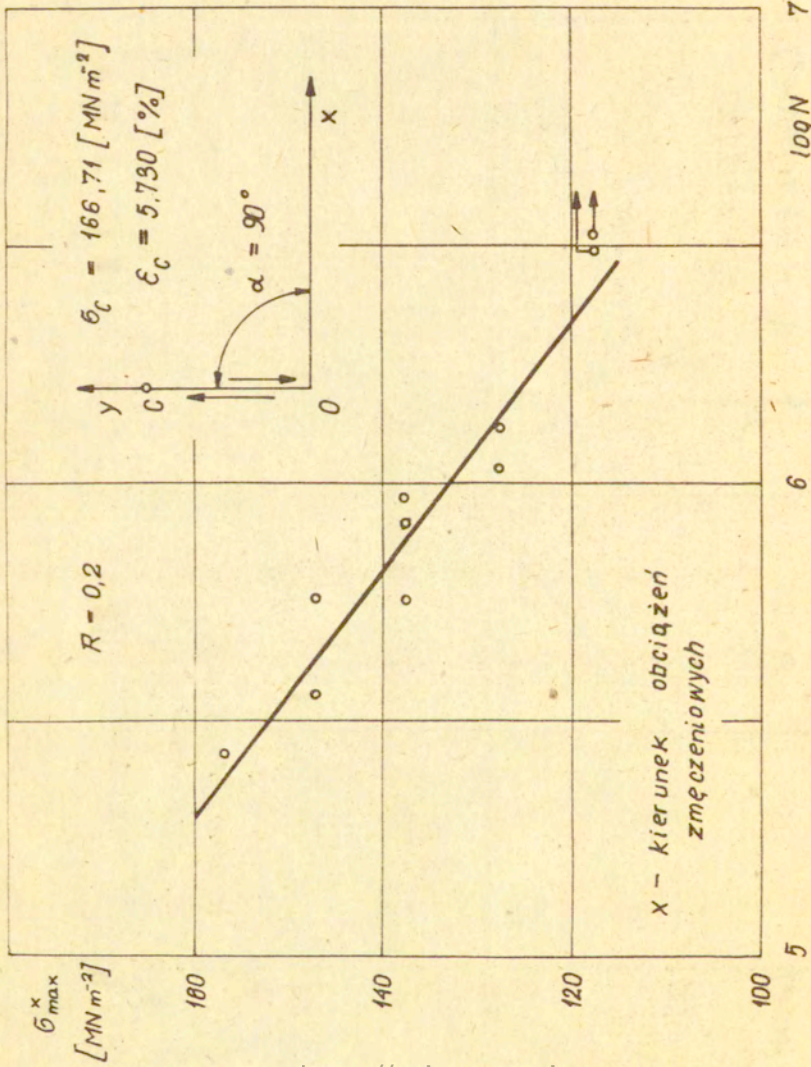


log N 7

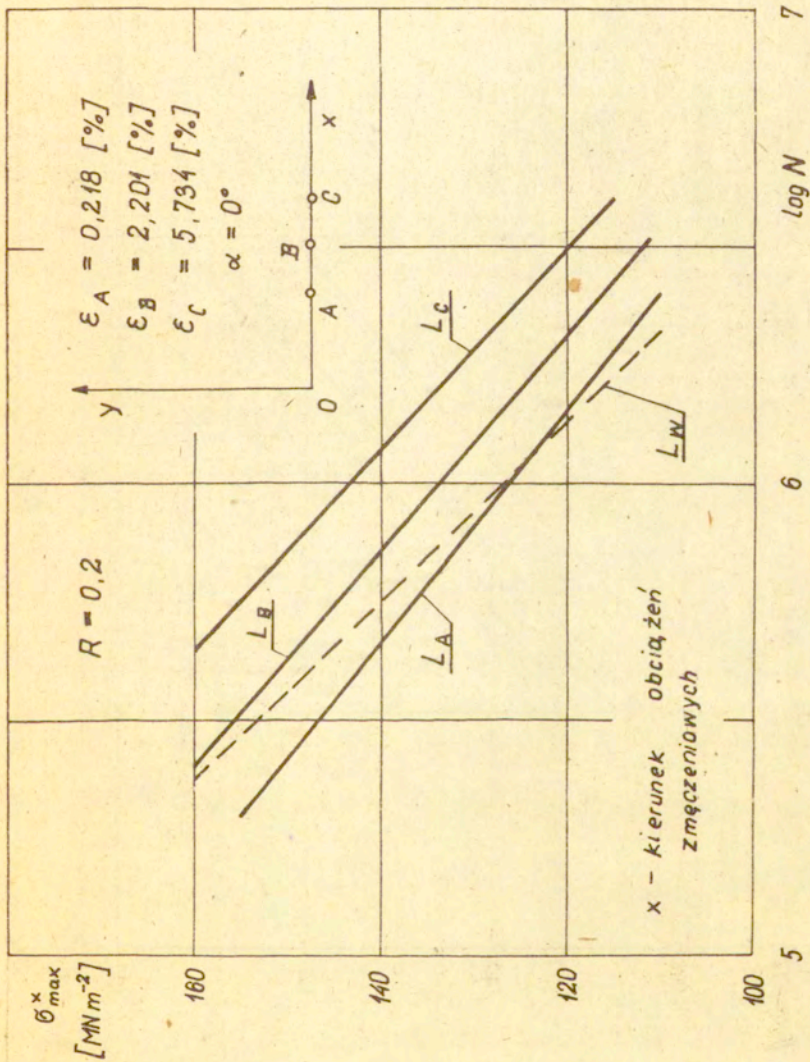
6

5

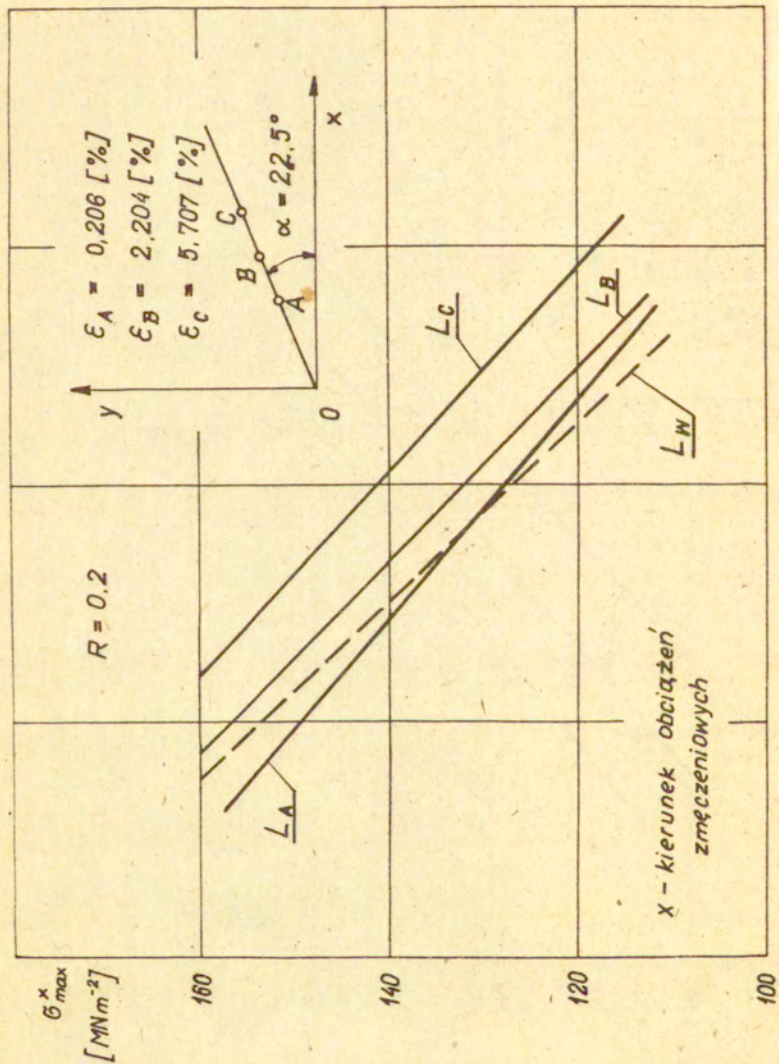
Rys. 24



Rys. 25



Rys. 26



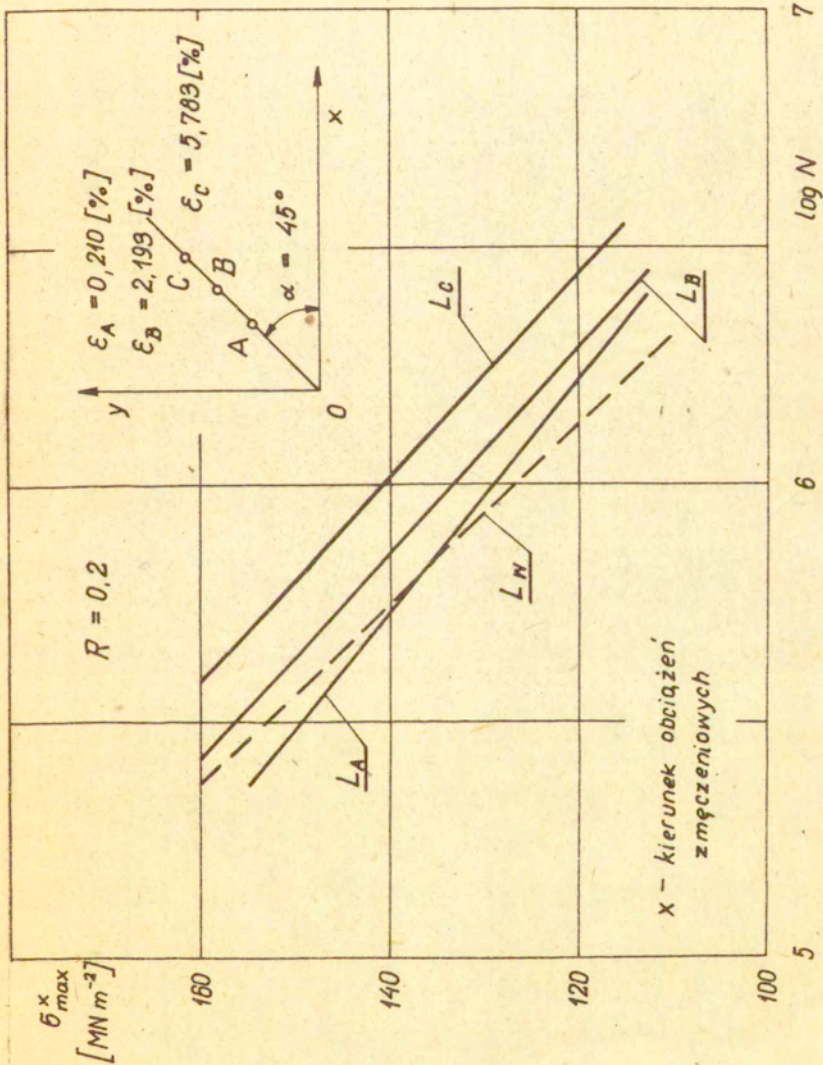
5

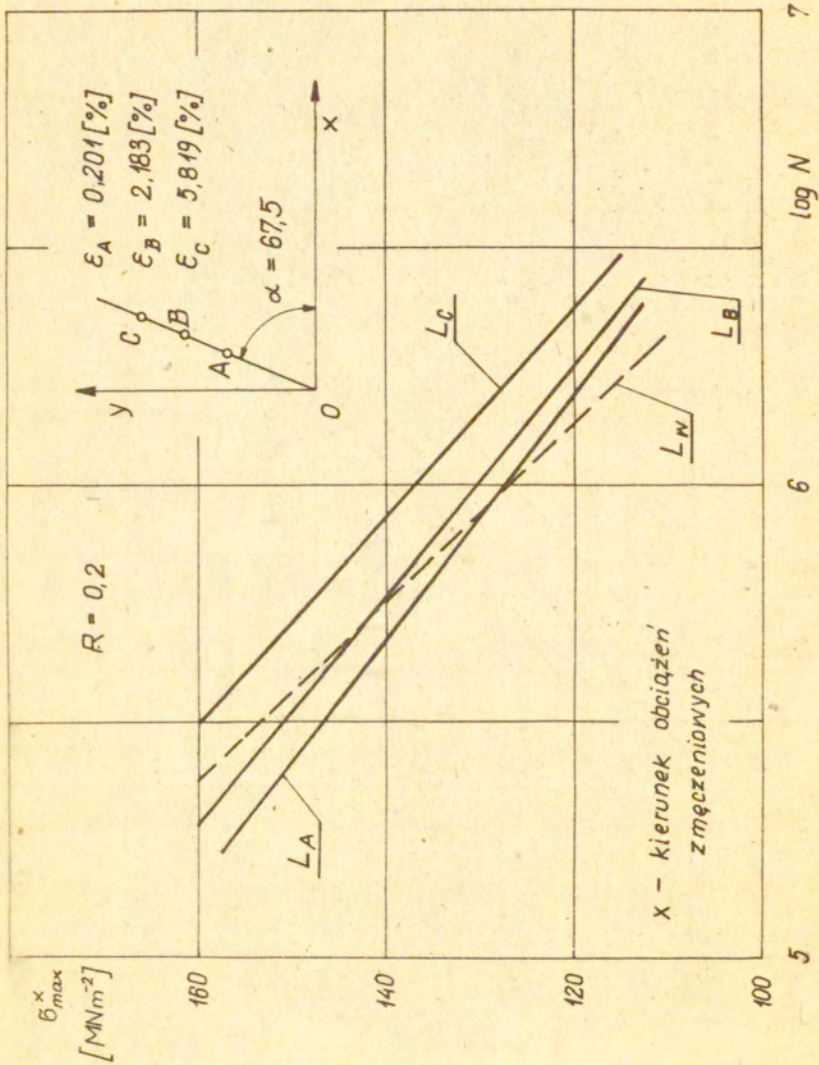
6

log N

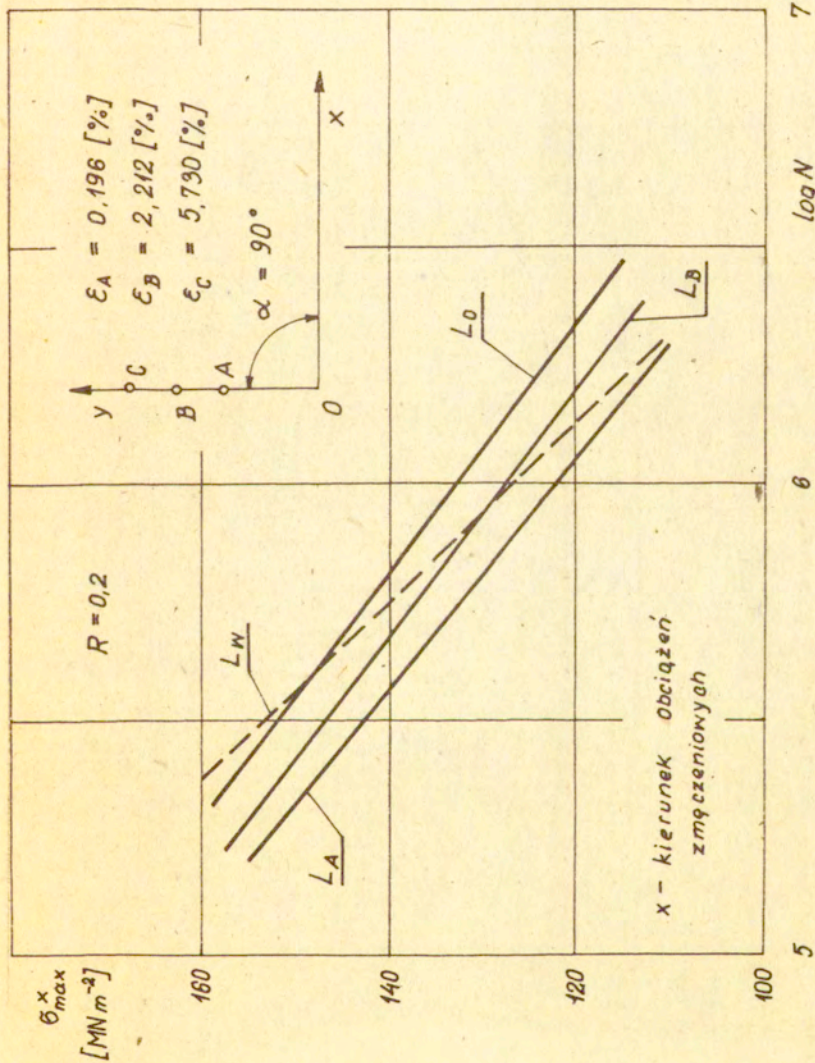
7

Rys. 27





Rys. 29



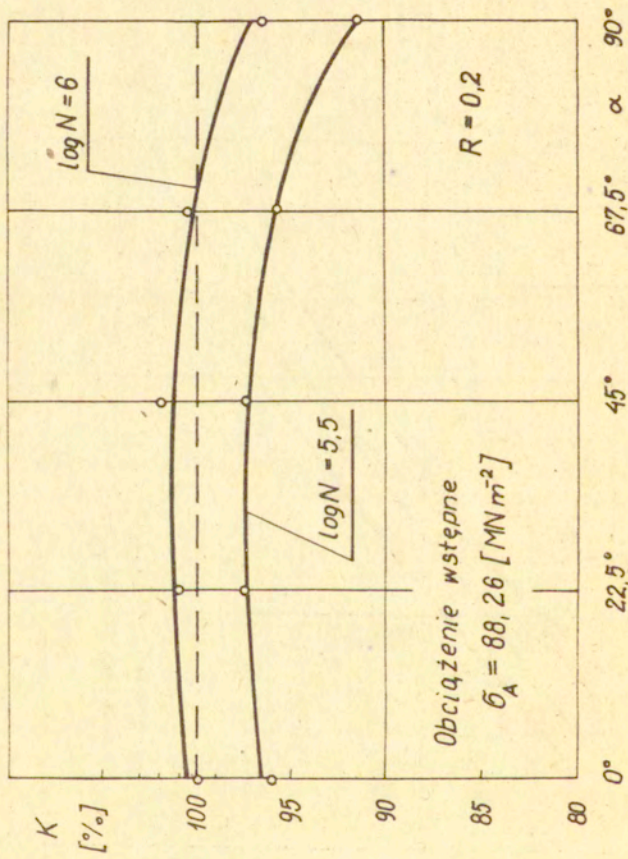
6

log N

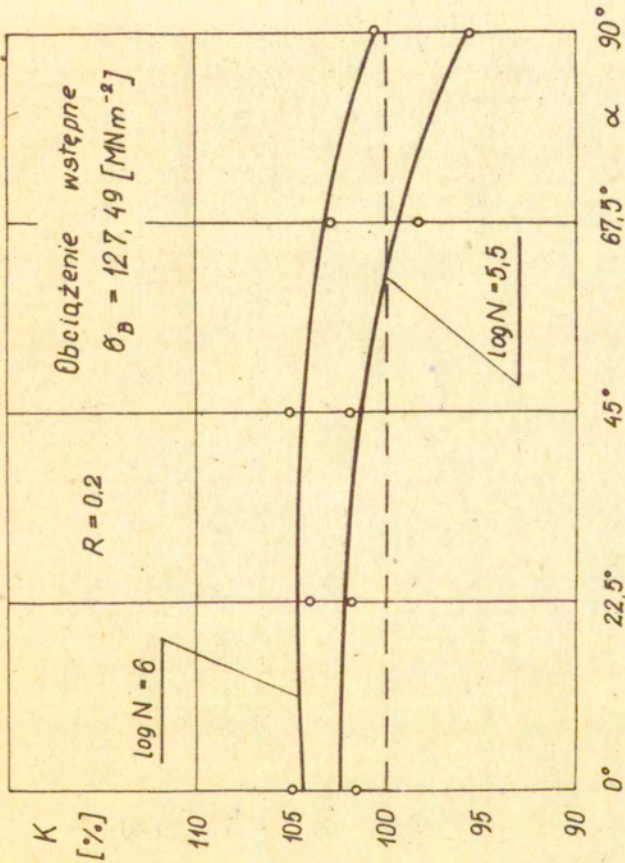
7

Rys. 30

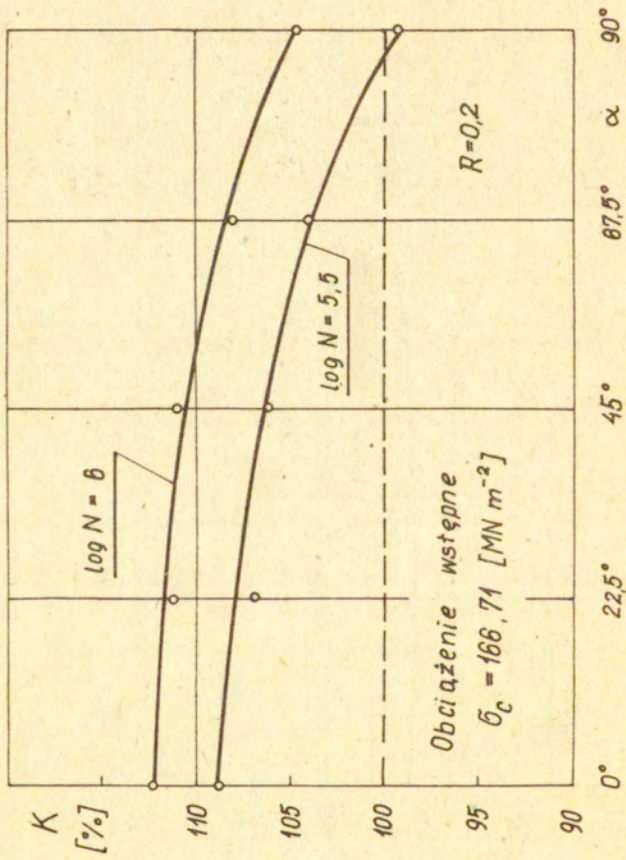
5



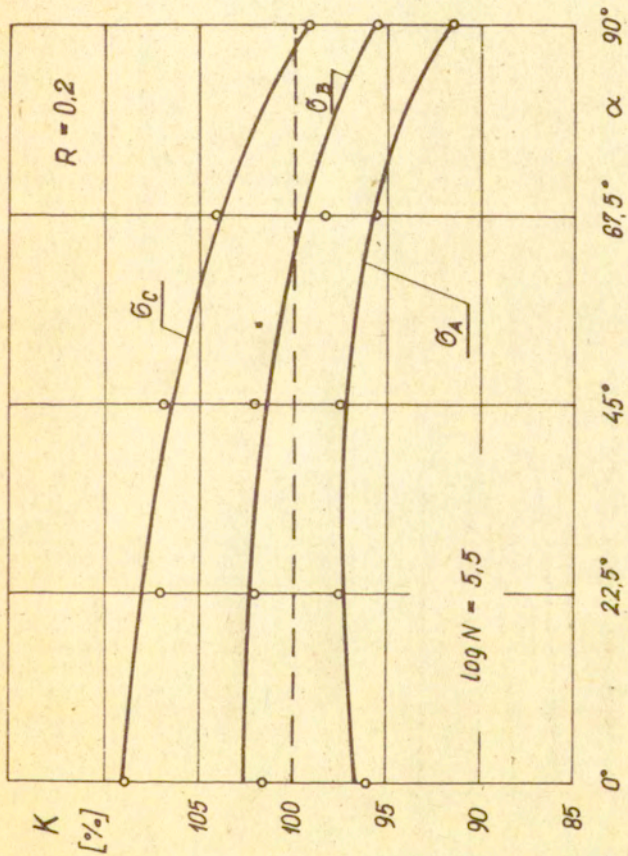
Rys. 31



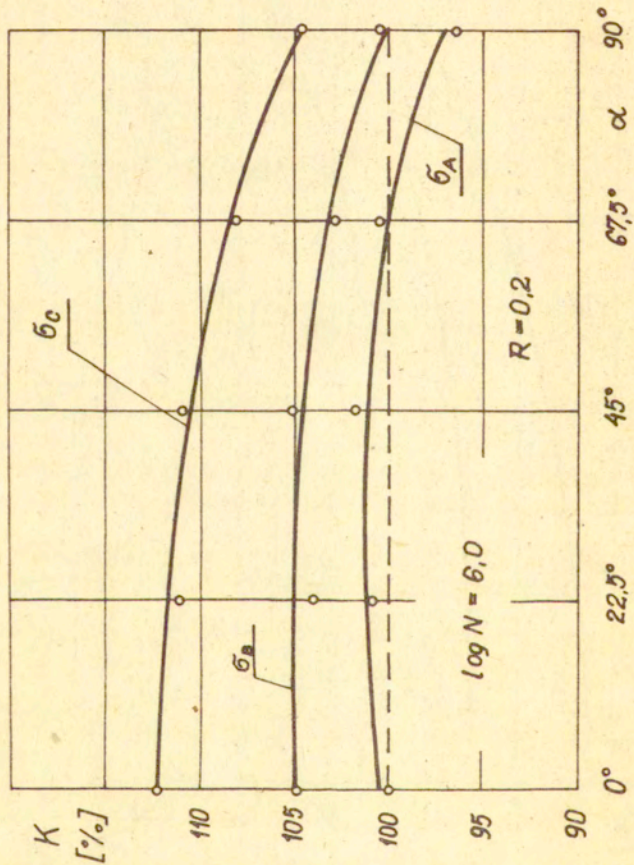
Rys. 32



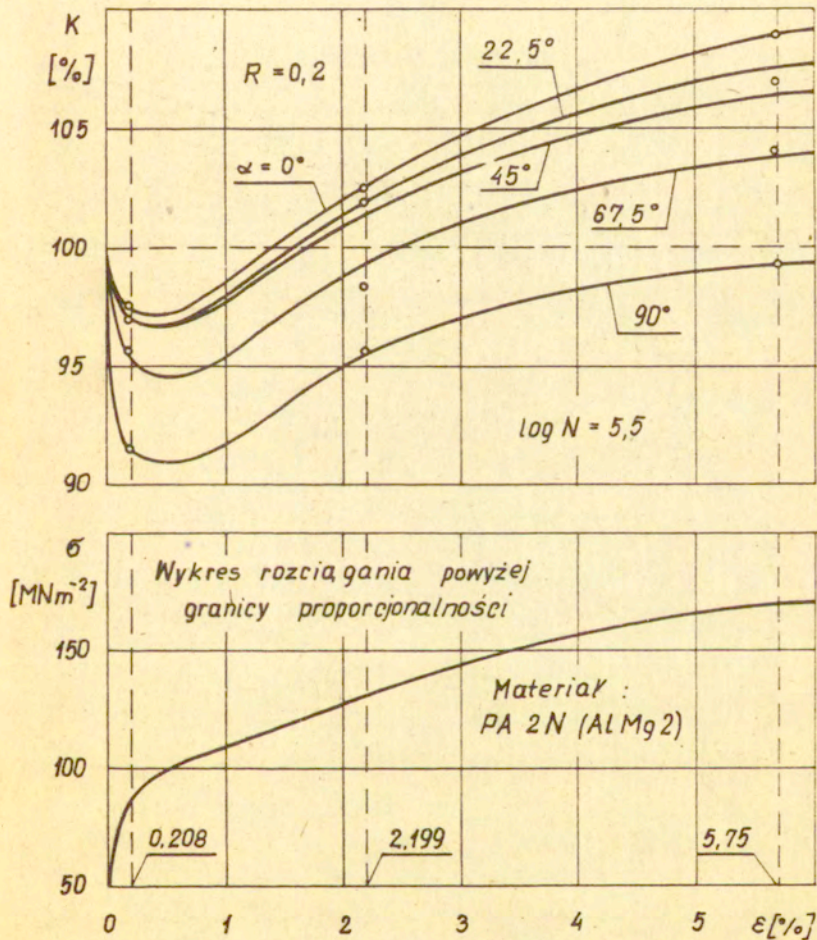
Rys. 33



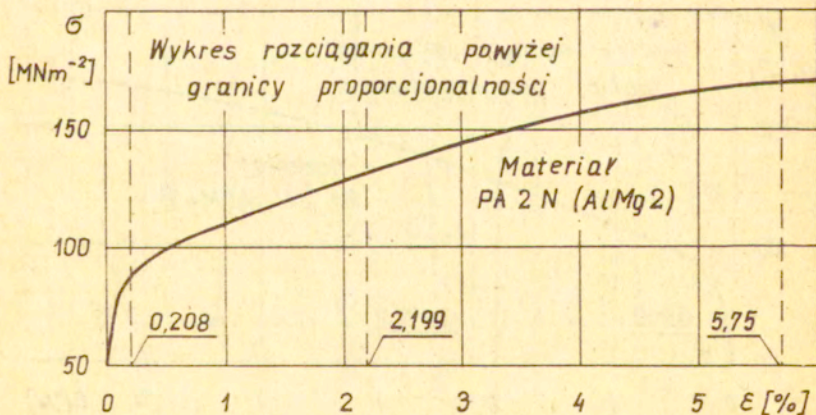
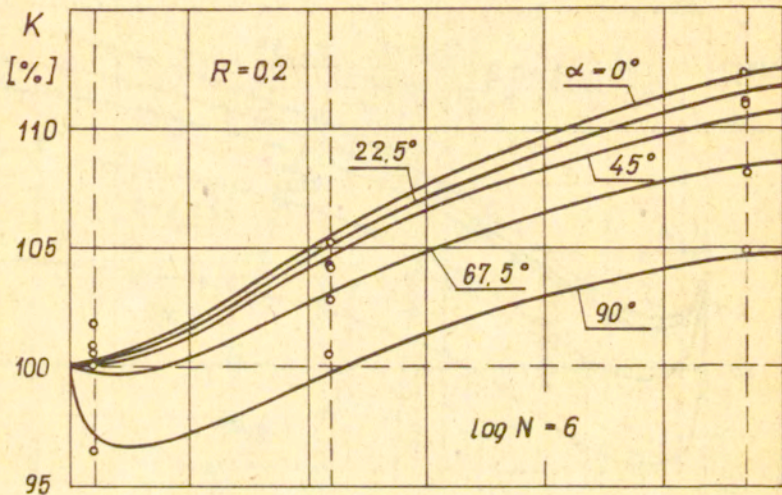
Rys. 34



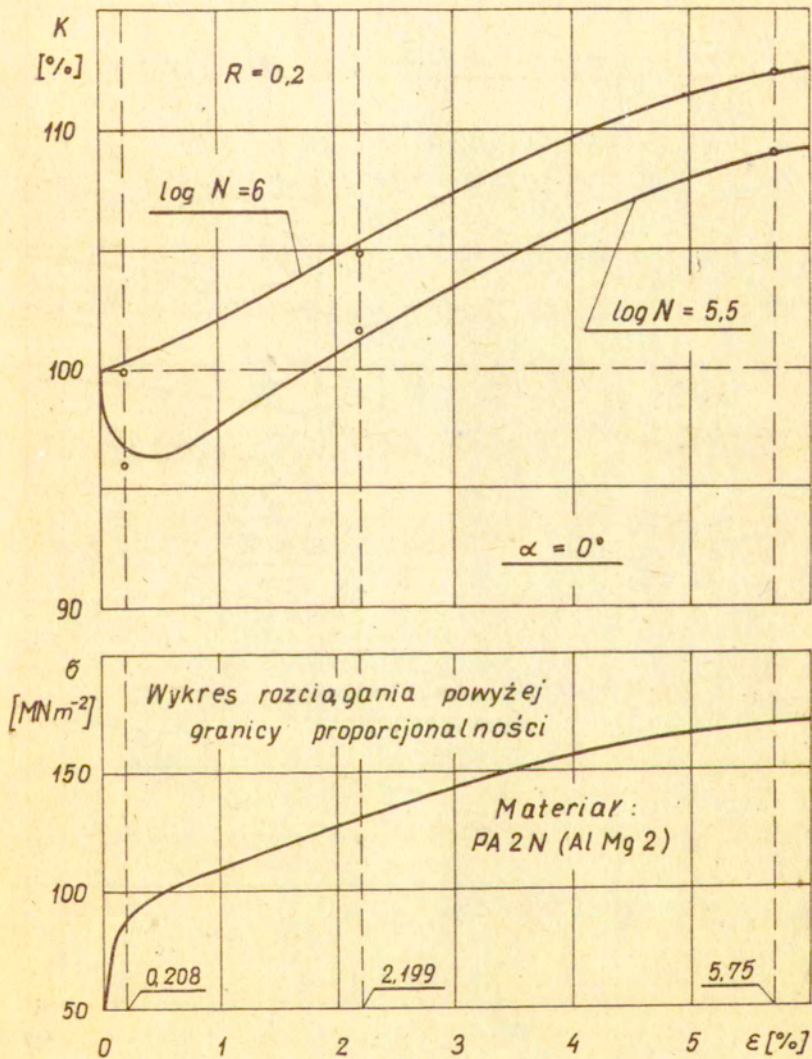
Rys. 35



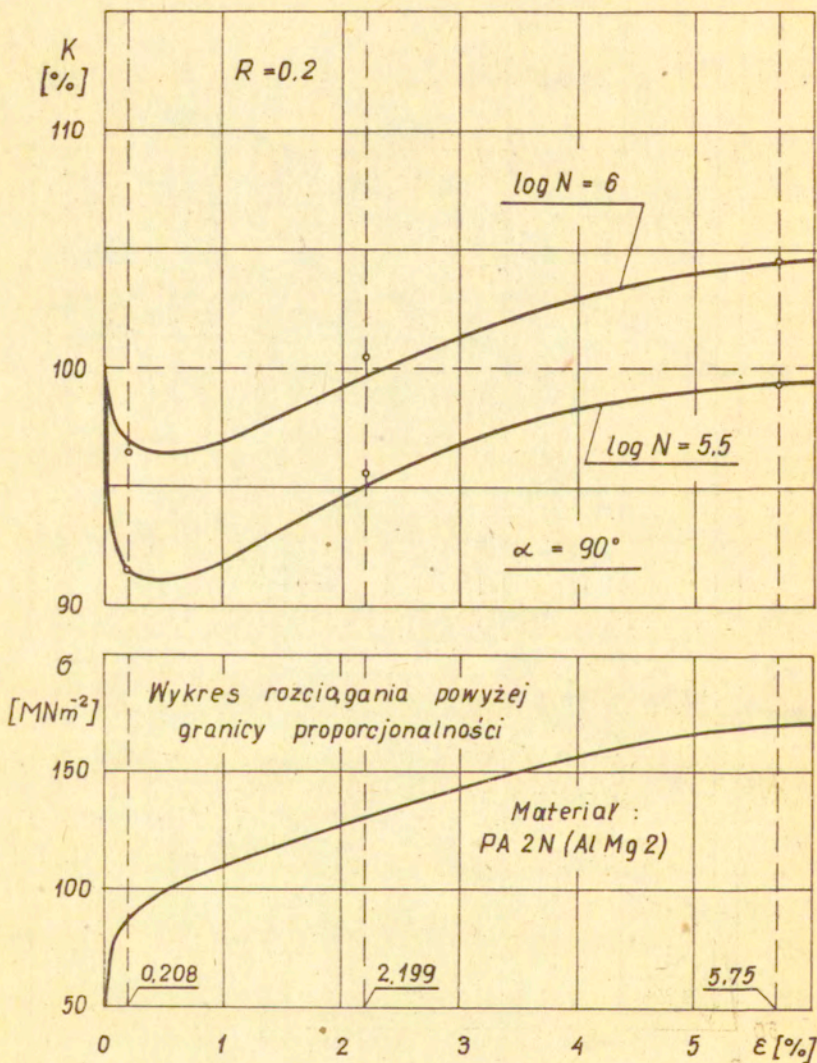
Rys. 36



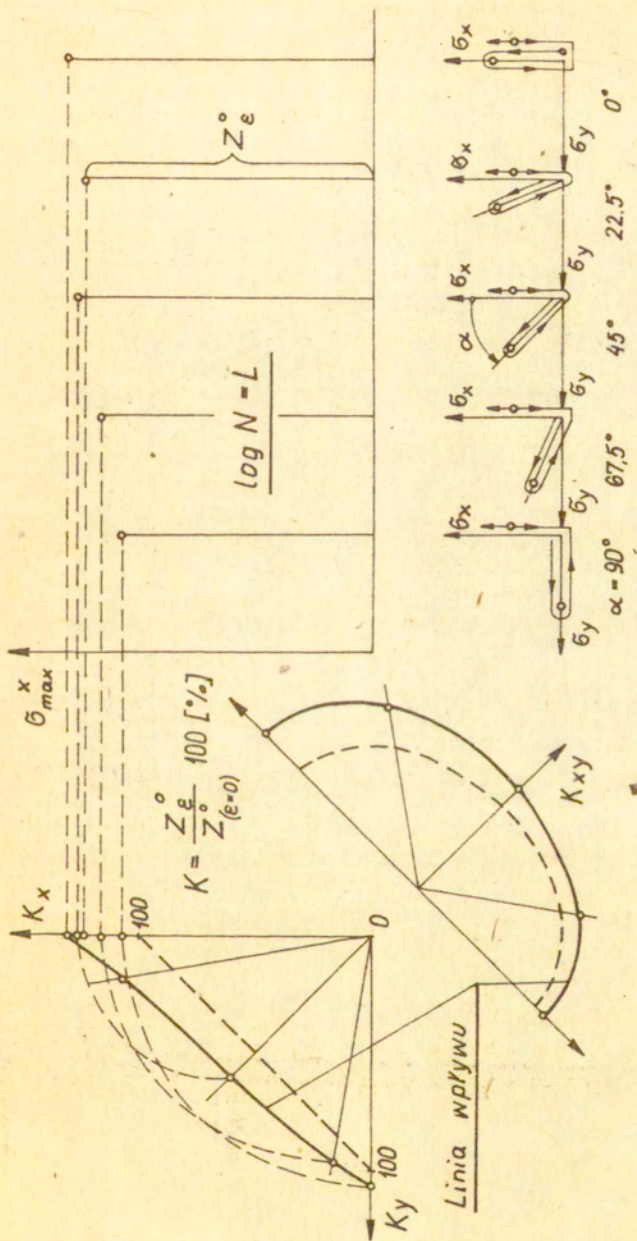
Rys. 37



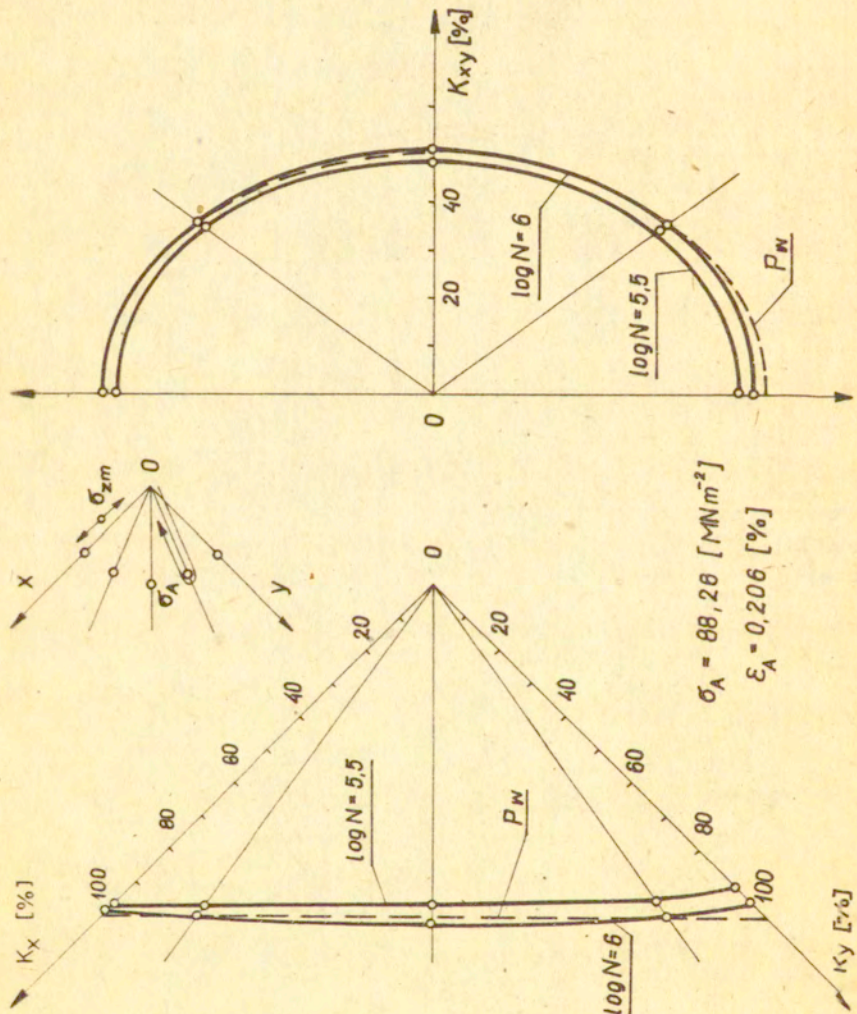
Rys. 38



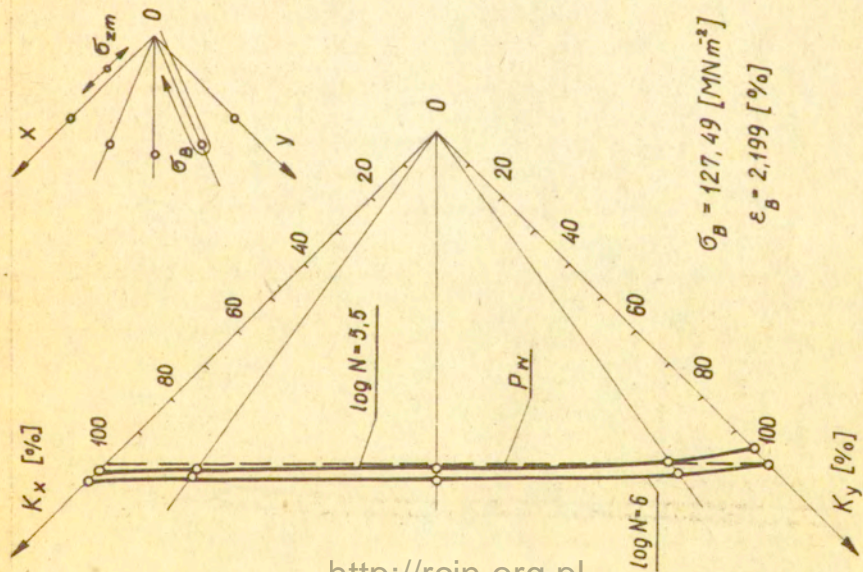
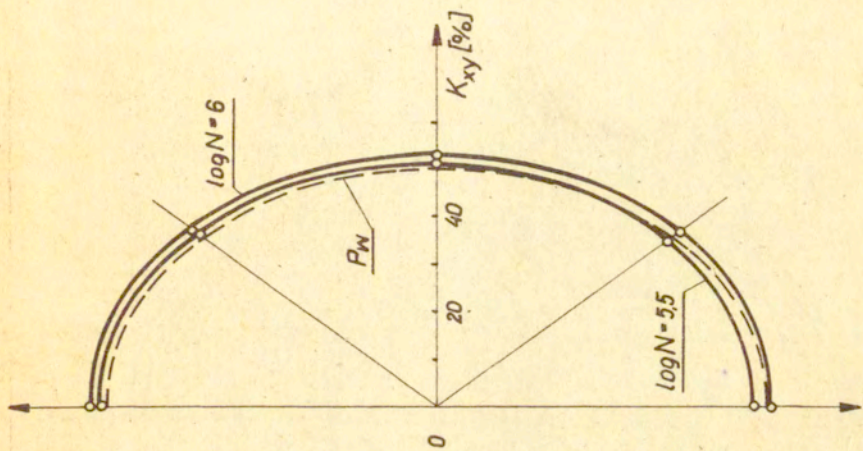
Rys. 39



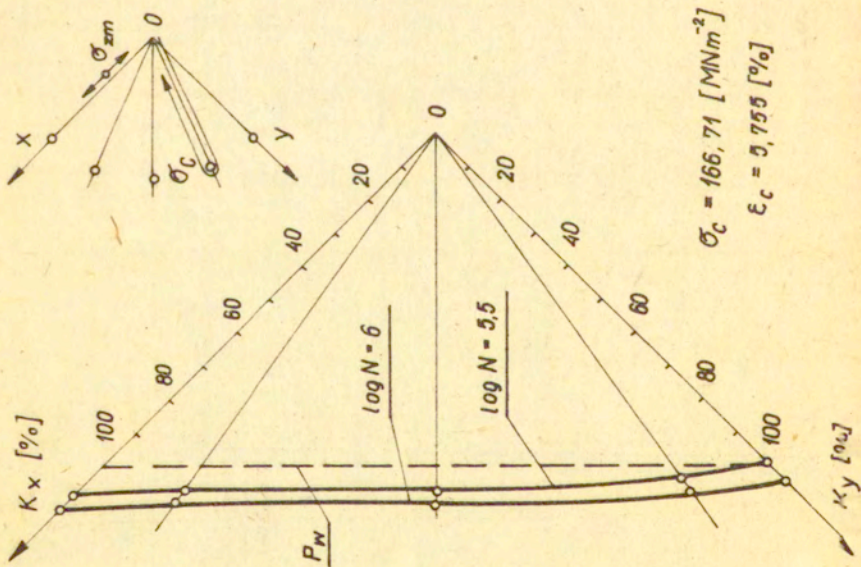
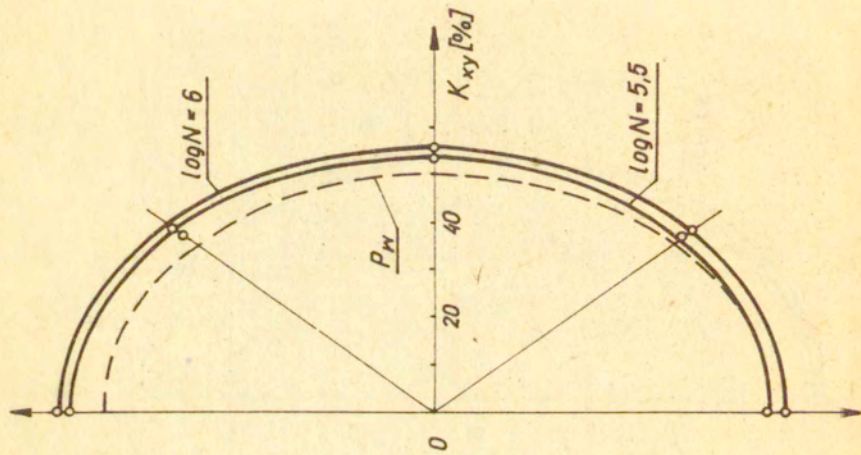
Rys. 40



Rys. 41

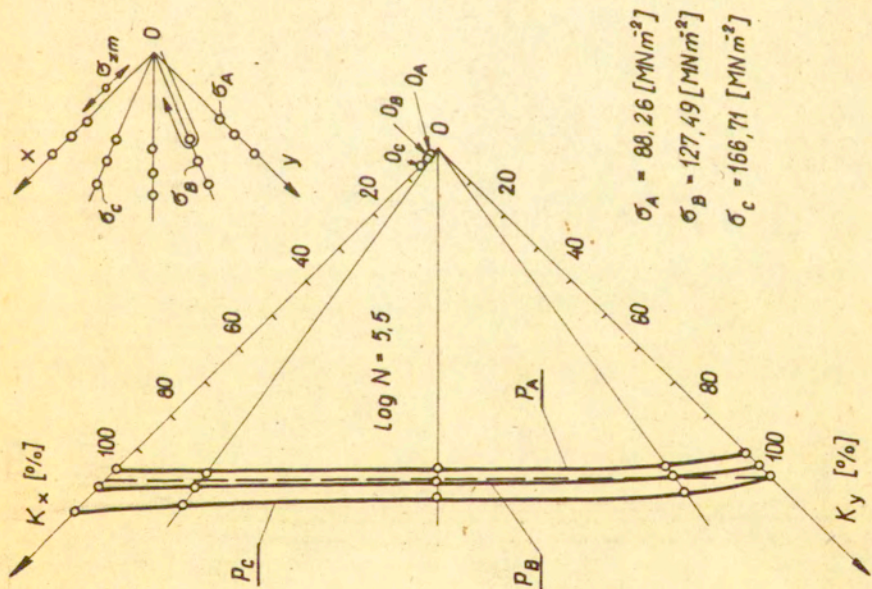
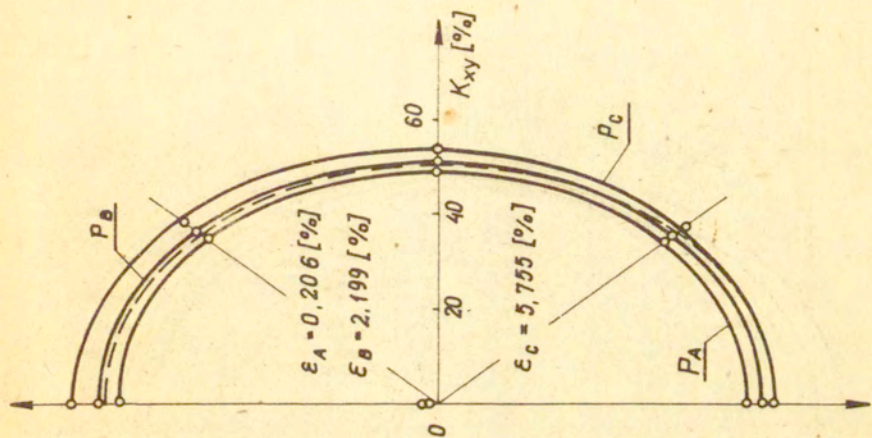


Rys. 42

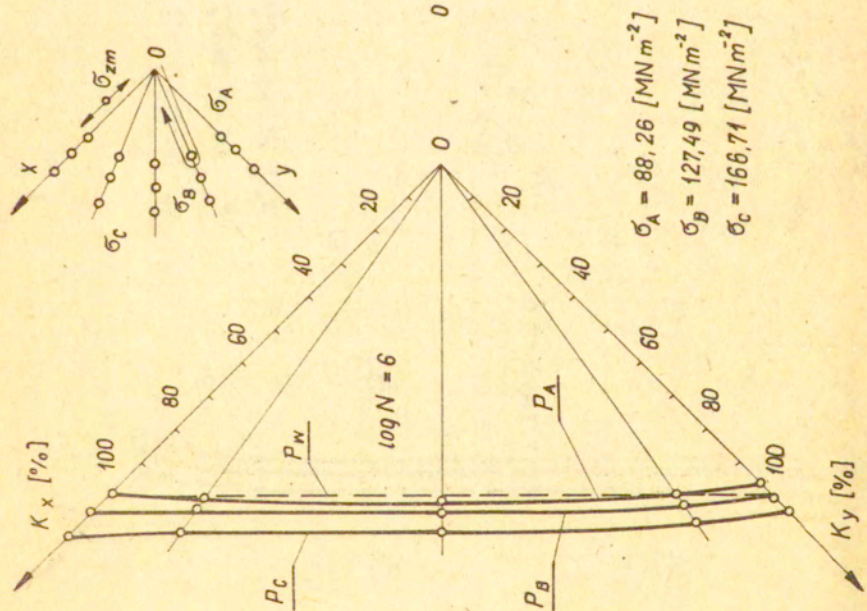
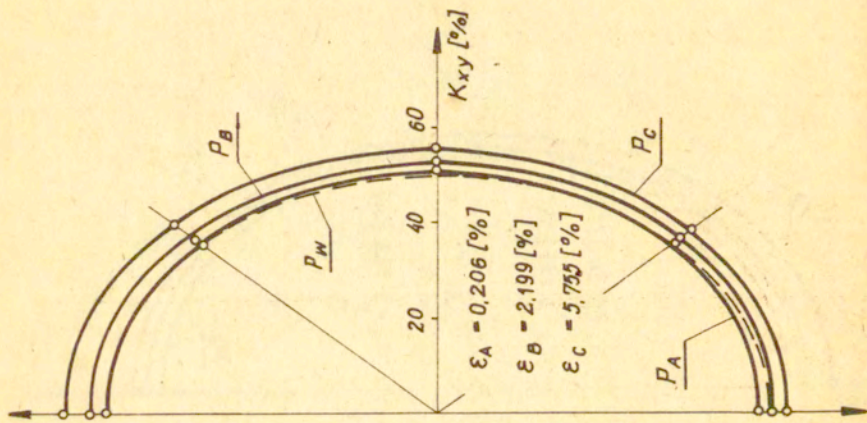


$\sigma_c = 166,71 \text{ [MNm}^{-2}\text{]}$
 $\epsilon_c = 0,755 \text{ [%]}$

Rys. 43



Rys. 44



Rys. 45

7. Spis treści

1. Wprowadzenie	3
1.1. Wykresy zmęczeniowe Wöhlera	4
1.2. Wpływ wstępnych odkształceń plastycznych na wytrzymalność zmęczeniową metali	5
1.3. Badania zmęczeniowe w złożonym stanie naprężenia	7
1.4. Linie wpływu plastycznych odkształceń na ograniczoną wytrzymalność zmęczeniową	8
2. Metodyka i wyniki badań	8
2.1. Określenie powierzchni wpływu plastycznego odkształcenia na ograniczoną wytrzymalność zmęczeniową.....	12
3. Wnioski	13
4. Literatura	14
5. Tablice	15
6. Rysunki	53