

I WIELOBOKU SZNUROWYM WYZNACZAĆ MOMENTY WZGLĘDEM RÓŻNYCH OSI RÓWNOLEGŁYCH DO SIEBIE - wypada tylko każdorazowo obliczyć pole, które jest przytem zmienne.

NIE POZWALA NA TO SPOSÓB CULMANNA. Wymaga on nowego wieloboku sił i wieloboku sznurowego /wtórnych/ dla każdego położenia osi.

Co się tyczy dokładności, to pozornie wyznaczenie momentu sposobem Culmanna jest prostsze, gdyż do otrzymania odpowiedzi nie trzeba obliczać pól. Jednakże na niedokładność wpływa tu zawilsza, niż u Mohra, budowa wykresu oraz trudność, która powstaje przy znaczniejszej liczbie części podziału zadanego pola.

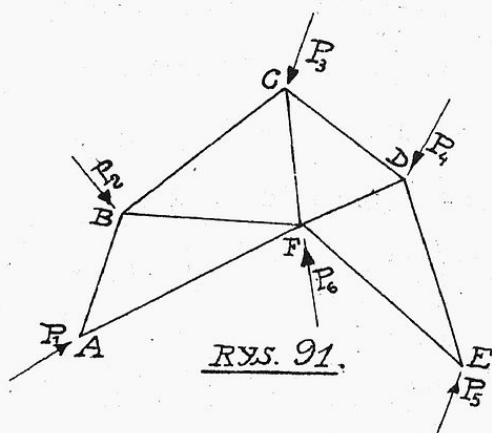
W sposobie Mohra dokładność odpowiedzi zależy z jednej strony od dokładności, z jaką możemy wykreślić odpowiednie krzywe sznurowe, i z drugiej strony od ścisłości, z jaką umiemy obliczać pola, ograniczone częściowo linjami krzywymi.

## ROZDZIAŁ VII.

### KRATOWNICE.

105. OKREŚLENIA. KRATOWNICĄ NAZYWAMY SZTYWNY UKŁAD PRĘTÓW PROSTYCH, POŁĄCZONYCH ZE SOBĄ PRZEGUBAMI /rys. 91/.

Punkty, w których zbiegają się pręty, nazywamy WĘZŁAMI.



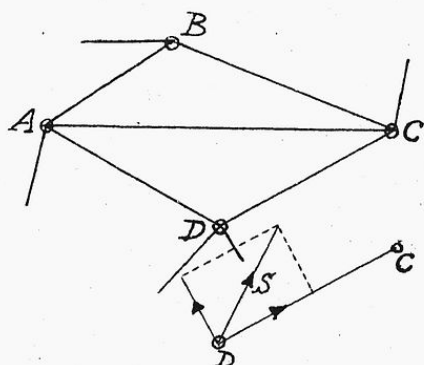
Jeśli wszystkie pręty, tworzące kratownicę, leżą w jednej płaszczyźnie, to kratownicę taką nazywamy PŁASKĄ; w przeciwnym razie mamy do czynienia z kratownicą PRZESTRZENNĄ. W dalszym ciągu będziemy rozpatrywali wyłącznie kratownice płaskie.

W rozdziale niniejszym będzie nam chodziło o wyznaczenie sił, które powstają w prętach, gdy na kratownicę działają pewne siły zewnętrzne. Będziemy uważali przytem, że siły zewnętrzne działają w płaszczyźnie kratownicy i że są przyłożone wyłącznie do węzłów. W par. 117 podamy sposób obliczenia tych sił, tymczasem będziemy uważali, że są one zadane.

Kratownice można podzielić na: STATYCZNIE WYZNACZALNE I STATYCZNIE NIEWYZNACZALNE. Do grupy pierwszej należą te kratownice, dla których siły w prętach dają się wyznaczyć wyłącznie zapomocą twierdzeń statyki, bez uciekania się do innych nauk. Gdy zaś to nie daje się uczynić, to kratownica jest statycznie niewyznaczalną.

#### 106. DLACZEGO POŁĄCZENIA PRĘTÓW MAJĄ BYĆ PRZEGUBOWE?

Przypuśćmy, że ...  $ABCD$ .... /rys. 92/ jest częścią kratownicy, na którą działają siły zewnętrzne, przyłożone w węzłach. Kratownica ta, przypuśćmy, jest w równowadze;



RYS. 92

w równowadze będzie też każdy jej pręt, a więc i pręt CD. Przypuśćmy, że przy węźle D odcinamy wszystkie pręty, za wyjątkiem CD; aby ten pręt był teraz w równowadze trzeba do punktu D przyłożyć pewną siłę, z jaką odcięte pręty

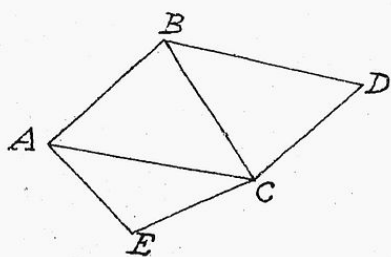
na ten węzeł działały. Niech to będzie siła  $S$ , tworząca pewien kąt z osią pręta CD.

Siłę tę możemy rozłożyć na dwie składowe: na jedną w kierunku osi pręta i na drugą w kierunku prostopadłym. Pierwsza z nich wywołuje ściskanie pręta /przy innym kierunku siły  $S$  - rozciąganie/, druga dąży do obrócenia go około C; ta ostatnia siła mogłaby wówczas pręt giąć, gdyby on był w węźle C sztywno umocowany. Jeśli zaś węzeł C będzie przegubowym, wówczas składowa normalna do osi pręta istnieć nie może, boć niema ruchu tego pręta; zatem na dany pręt może wtedy działać tylko siła skierowana wzdłuż jego osi, czyli że pręt może być tylko ścispany lub rozciągany. Przy połączeniu sztywnem w pręcie powstałyby mogły naprężenia zginające. Ponieważ obliczenie sił, zginających pręty, jest bardzo złożone i nie może być wykonane przy pomocy zasad statyki, natomiast siły, działające wzdłuż osi pręta dają się łatwo znaleźć, przeto

dla uproszczenia zadania przyjmujemy, że węzły są przegubowe.

Tak więc POŁĄCZENIA PRZEGUBOWE PRĘTÓW KRATOWNICY MAJĄ NA CELU USUNIĘCIE NAPRĘŻEŃ ZGINAJĄCYCH W PRĘTACH; natomiast zapewniają powstawanie w prętach JEDYNIĘ SIĘ ROZCIĄGAJĄCYCH LUB ŚCISKAJĄCYCH.

107. WARUNEK STATECZNOŚCI KRATOWNICY. Zobaczymy, wiele trzeba najmniej prętów przy danej liczbie węzłów, aby kratownica była sztywna.



RYŚ. 93.

Przypuśćmy naprzód, że mamy kratownicę ABC /rys.93/, złożoną z 3-ch węzłów; oczywiście, że do tego, aby kratownica była sztywna, niezbędne są 3 pręty.

Jeżeli następnie będziemy chcieli połączyć z kratownicą ABC czwarty węzeł D, trzeba będzie do tego już tylko dwóch prętów AD i CD; to samo dotyczy każdego następnego węzła. Zatem, gdy liczba węzłów wynosi  $n$ , to pierwsze 3 węzły wymagają 3 prętów, pozostałe  $(n-3)$  węzły wymagają każdy po 2 pręty, zatem ogółem potrzeba prętów  $(n-3) \cdot 2$ . Widzimy więc, żeby przy  $n$  węzłach budowla była sztywna wymagana jest liczba prętów

$$m = 3 + (n-3) \cdot 2$$

albo

*Zobaczmy  
przegubowe.*

$$m = 2n - 3 \quad | \dots \dots \dots /1/$$

108. WARUNEK, ABY KRATOWNICA BYŁA STATYCZNIE WYZNACZALNA. Zbadajmy teraz, wiele może być prętów przy  $n$  węzłach, aby kratownica była statycznie wyznaczalna, t.j. aby można było znaleźć siły, działające w poszczególnych prętach przy pomocy statyki. Szukaną liczbę prętów oznaczmy przez  $m$ . Ponieważ kratownica jest w równowadze, zatem każdy węzeł jest w równowadze; dla jednego więc węzła możemy napisać 2 równania równowagi, trzecie równanie momentów nie ma wartości, zatem równań tych będzie ogółem  $2n$ . Lecz siły zewnętrzne, działające na kratownicę, nie mogą być dowolnie obrane, powinny czynić zadość trzem warunkom równowagi; zatem dla wyznaczenia sił w prętach będziemy mieli nie  $2n$  równań, lecz o 3 mniej, czyli  $(2n-3)$  równań; tyleż możemy znaleźć niewiadomych sił w prętach; zatem może być tylko  $(2n-3)$  prętów. Gdyby liczba prętów była większa niż  $(2n-3)$ , to kratownica byłaby statycznie niewyznaczalna. Zatem musi być spełnione równanie:

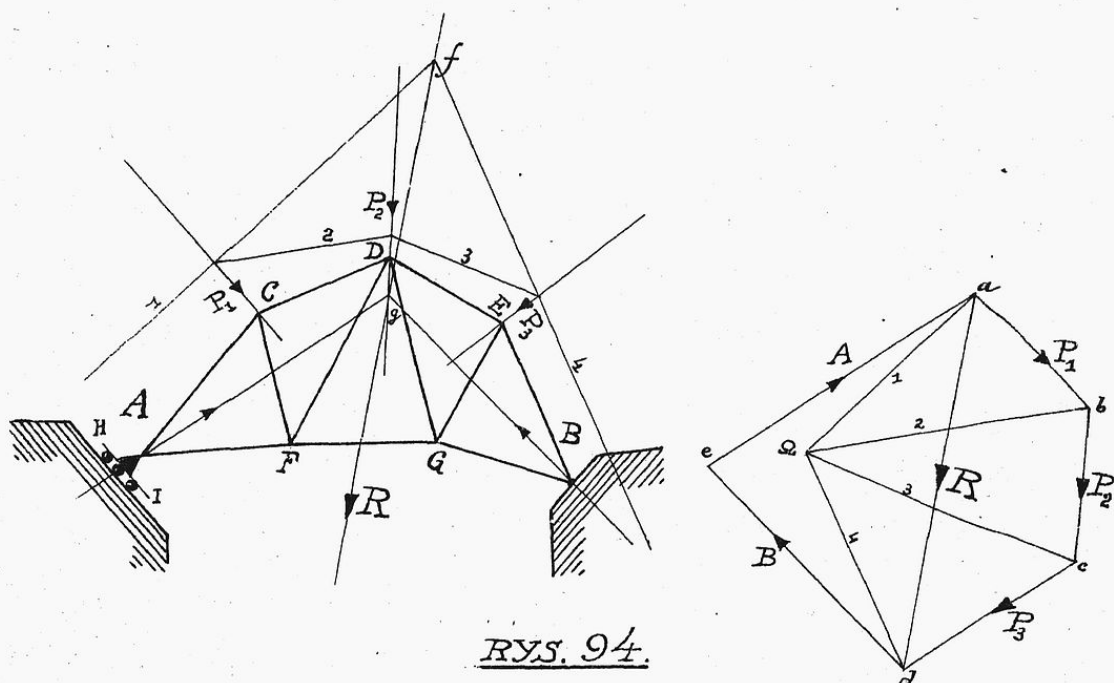
$$m = 2n - 3$$

Z powyższego wynika, że KRATOWNICA O NAJMNIEJSZEJ LICZBIE PRĘTÓW, KTÓRA WYSTARCZA DO SZTYWNOŚCI, JEST JEDNO-CZEŚNIE KRATOWNICĄ STATYCZNIE WYZNACZALNĄ.

109. WYZNACZANIE ODPORÓW. Rozpatrzmy kratownicę /rys.94/, obciążoną siłami  $P_1, P_2, P_3$ , przyłożonemi do



węzłów C, D, E i opartą o mur w punktach A i B. Mamy wyznaczyć oddziaływania /odpory/ muru w tych punktach.



Co się tyczy charakteru podpór, to założymy, że A jest podporą I-go rodzaju /por.par.68/ i może wywierać jedynie oddziaływanie normalne do płaszczyzny podparcia, zaś B - jest podporą II-go rodzaju.

Aby znaleźć odpory A i B wyznaczamy naprzód wypadkową R sił  $P_1, P_2, P_3$ . Budujemy więc dla sił tych wielobok  $abcd$  oraz wielobok sznurowy. Szukana wypadkowa pod względem wartości, kierunku i lotu jest przedstawiona odcinkiem  $ad$ ; jej linja działania przechodzi przez

punkt  $f$ , w którym przecinają się boki skrajne 1 i 4 wieloboku sznurowego.

Wypadkowa  $R$  równoważy się odporami:  $A$  i  $B$ , zatem powinna przeciąć się z nimi w jednym punkcie. Kierunek odporu  $A$  jest wiadomy, prostopadły do płaszczyzny podparcia  $HJ$ , jeśli więc punkt przecięcia się tego odporu z wypadkową  $R$  połączymy z punktem  $B$ , to otrzymamy kierunek drugiego odporu. Wartości i loty sił  $A$  i  $B$  wyznaczymy łatwo, uzupełniając wielobok sił. Otrzymamy, że  $A = \overline{ea}$ ,  $B = \overline{de}$ .

110. WYZNACZANIE SIŁ W PRĘTACH. Zobaczymy teraz, jak wyznacza się siły, które powstają w prętach kratownicy statycznie wyznaczalnej, pod działaniem sił zewnętrznych.

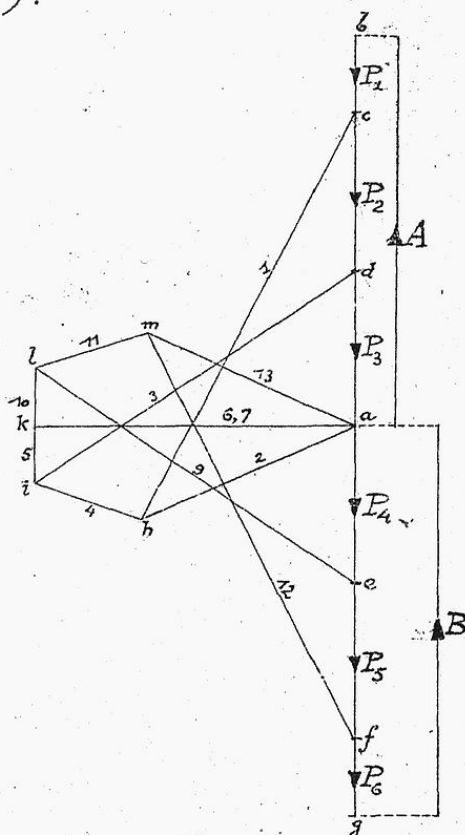
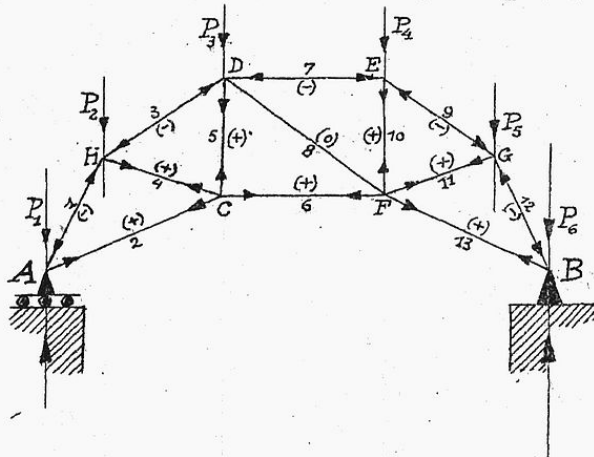
Podamy tu trzy metody, zmierzające do tego celu, mianowicie: sposób L.CREMONY, A.RITTERA i C.CULMANNA.

Sposób Cremony jest dogodny wtedy, gdy chodzi o znalezienie sił we wszystkich prętach kratownicy; dwa pozostałe zaś sposoby — gdy chcemy wyznaczyć siłę, działającą tylko w jednym lub w niektórych prętach.

111. WYZNACZANIE SIŁ W PRĘTACH SPOSOBEM CREMONY. Rozpatrzmy kratownicę, przedstawioną na rys.95, obciążoną siłami PIONOWYMI  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ , przyłożonemi do węzłów  $A, H, D, E, G, B$  i podpartą w punktach  $A$  i  $B$ . Jeśli obciążenie kratownicy jest symetryczne względem środkowej osi,

jeśli następnie jedna z podpór jest na wałkach, toczących się po płaszczyźnie poziomej, wówczas odpory A i B są pionowe, a każdy z nich wynosi:

$$\frac{1}{2} (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6).$$



RYS. 95.

Budując więc wielobok sił, otrzymamy, że  $\overline{ab} = A$  i  $\overline{ga} = B$ . Wyznaczwszy odpory, przechodzimy do rozpa-trzenia sił w prętach; i bierzemy naprzód pod uwagę wę-zek A. Ponieważ kratownica jest w równowadze, przeto każ-dy z węzłów, oddzielnie rozpatrywany, jest w równowadze. Przetnijmy pręty, zbiegające się w węźle A. Dla równowagi tego węzła poza siłą A i  $P_1$  należy jeszcze przyjąć siły





działające według prętów 1 i 2. Te cztery siły  $A, P_1$  i siły w prętach 1 i 2 są w równowadze. Zatem wielobok, utworzony z tych sił musi być zamknięty. Siły  $A$  i  $P_1$  są już w wieloboku sił wykreślone, należy tylko z końca  $c$  siły  $P_1$  poprowadzić równoległą do pręta 1, a z początku  $a$  siły  $A$  - równoległą do pręta 2. Oznaczając punkt przecięcia się tych równoległych przez  $b$ , otrzymamy, że  $\overline{cb}$  /z lotem od  $c$  do  $b$  / określa siłę w pręcie 1, a  $\overline{ba}$  /z lotem od  $b$  do  $a$  / - siłę w pręcie 2. Otrzymane loty oznaczamy na rysunku kratownicy, notując je na prętach w pobliżu węzła  $A$ .

Widzimy, że w pręcie 1 na węzeł  $A$  działa siła, zwrócona do niego; pręt ten jest zatem ściskany; oznaczamy to, stawiając przy pręcie znak "minus"  $-/-$ .

W pręcie 2 siła jest skierowana od węzła  $A$ ; to oznacza, że pręt 2 jest rozciągany; zaznaczamy to znakiem "plus"  $+/+$ , postawionym przy pręcie.

Przejdziemy teraz do innego węzła. W węźle  $C$  spotykają się cztery pręty, mianowicie: 2, 4, 5, 6. Pręt 2 jest rozciągany, zatem działa od węzła  $C$ ; siła ta jest określona poprzednio i jest równa co do wartości i kierunku wyznaczonej poprzednio sile  $2 = \overline{ab}$ , lot zaś posiada przeciwny, niż to było w stosunku do węzła  $A$ .

Nieznane są zatem tylko siły w prętach 4, 5, 6, równoważące się z siłą  $\overline{ab}$  /siły zewnętrzne na węzeł  $C$  nie działają/. Dane te nie wystarczają do znalezienia tych sił, bo na odcinku, przedstawiającym siłę  $\overline{ab}$ , możemy zbudować nieskończenie wiele wieloboków, o bokach równoległych do prętów 4, 5, 6. Z tego wynika, że narazie węzła  $C$  rozpatrywać nie możemy, i że należy przejść do takiego węzła, w którym mamy tylko dwie siły niewiadome.

Takim jest węzeł  $H$ . Zbiegają się w nim pręty 1, 3, 4 i działa nań siła zewnętrzna  $P_2$ . Siła w pręcie 1 jest  $= \overline{bc}$ ; ponieważ ten pręt jest ściskany, zatem na węzeł  $H$  działa ku niemu; /zaznaczamy to na osi pręta strzałką zwróconą ku  $H$ /. Pozostają więc do wyznaczenia siły w prętach 3 i 4. Wykonujemy to, korzystając z poprzednio rozpoczętego wieloboku sił: Siła w pręcie 1 /siła  $\overline{bc}$  / wraz z siłą  $P_2$  tworzą część wieloboku  $bcd$ ; z końca  $d$  siły  $P_2$  prowadzimy równoległą do pręta 3, a z początku  $b$  siły  $\overline{bc}$  - równoległą do pręta 4. Jeżeli punkt przecięcia się tych prostych oznaczmy przez  $i$ , to odcinki  $\overline{di}$  i  $\overline{ib}$  wyznaczają nam odpowiednio siły w prętach 3 i 4. Dla węzła  $H$  otrzymaliśmy więc wielobok zamknięty z obiegiem  $cdibc$ . Znacząc na rysunku kratownicy loty sił 3 i 4 zobaczymy, że pręt 3 jest ściskany, zaś pręt 4 - rozciągany, w pierwszym bowiem

pręcie siła działa ku węzłowi, w drugim od węzła.

Zauważmy, że otrzymalibyśmy bardziej złożony wykres sił, gdybyśmy poprowadzili przez punkt  $d$  /a nie przez  $b$  / równoległą do pręta 4, a przez  $b$  /a nie przez  $d$  / równoległą do pręta 3. W następstwie bylibyśmy zmuszeni do powtórzenia tych samych odcinków po parę razy.

Uniknąć podobnej niedogodności pozwoli nam uwaga, że rysunek kratownicy i wielobok sił są figurami wzajemnymi, które mają tę własność /por.par.28/, że LINJE PRZECINAJĄCE SIĘ NA RYSUNKU KRATOWNICY W JEDNYM PUNKCIE MUSZĄ TWORZYĆ W WYKRESIE POMOCNICZYM WIELOBOK ZAMKNIĘTY I ODRĘT-NIE. Tak więc np. pręty 1,2,4 tworzą trójkąt, a zatem linje równoległe do nich w wieloboku sił przecinać się muszą w jednym punkcie. Na rysunku kratownicy siły  $P_2, P_3$  i pręt 3 tworzą trójkąt /o wierzchołku  $\infty$  dalekim/, przeto w wykresie sił - siła  $P_2, P_3$  i siła w pręcie 3 wychodzą z jednego punktu  $d$ . I tak dalej.

Możemy teraz przejść do węzła  $C$ , w którym obecnie mamy już tylko 2 niewiadome: siły w prętach 5 i 6. Pozostaje bowiem 2 siły mianowicie 2 i 4 zostały już wyznaczone.

Przedewszystkiem dodajemy znane siły w pręcie 2-gim i 4-ym; suma wyraża się odcinkami  $a/bi$ . Pręty 3, 4, 5 tworzą trójkąt, zatem w myśl uwagi poprzedzającej, równoległe do nich siły w wieloboku sił przecinają się w jednym

punkcie. Należy zatem przez punkt  $z$ , w którym przecina-  
ją się równoległe do prętów 3 i 4 poprowadzić równoległą  
do pręta 5, a przez punkt  $a$  /początek siły w pręcie 2/  
równoległą do pręta 6. Otrzymany stąd, że siłę w pręcie 5  
wyznaczy odcinek  $z\bar{k}$ , a w pręcie 6 odcinek  $\bar{k}a$ ; obydwie  
pręty są rozciągane. Dla węzła  $C$  mamy wielobok zamknię-  
ty z obiegiem  $abika$ .

Przechodzimy teraz do węzła  $D$ , na który działają  
siły w prętach 3, 5, 8, 7 oraz siła zewnętrzna  $P_3$ . Nie-  
wiadome są tylko dwie, mianowicie siły 8 i 7. Naprzód do-  
dajemy znane dla tego węzła siły przy pomocy wieloboku  
 $kida$ . W celu wyznaczenia sił 7 i 8 prowadzimy, podob-  
nie jak poprzednio, przez punkt  $k$  równoległą do pręta  
8, a przez  $a$  - równoległą do 7. Wypadnie stąd, że siła  
w pręcie 8 jest równa zeru, a siła w pręcie 7 jest co do  
wartości równa sile w pręcie 6, przyczem znajdujemy, że  
pręt 7 jest ściskany.

Dla węzła  $D$  mamy zatem wielobok sił z obiegiem  
 $kidak$ .

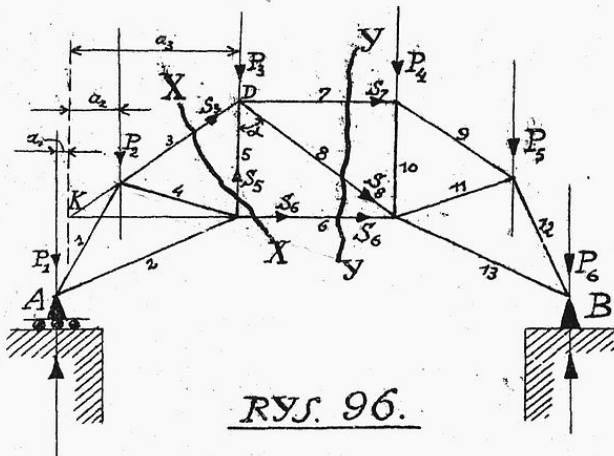
Zupełnie podobnie rozważać będziemy kolejno węzły  
 $E, F, G$ . W każdym z nich spotkamy tylko dwie niewiado-  
me, będziemy więc mogli je wyznaczać. Kiedy, wreszcie,  
przyjdziemy do węzła  $B$ , znajdziemy tu, że siły w prę-  
tach 12, 13, poprzednio wyznaczone, oraz siły  $P_6$  i  $B$   
powinny być w równowadze. W rzeczy samej wielobok utworzo-

ny dla tych sił *amfga* jest zamknięty.

Tym sposobem otrzymamy ostatecznie wielobok sił, zwany WYKRESEM CREMONY. Możemy z niego znaleźć z łatwością wartość siły w którymkolwiek pręcie kratownicy; o tem zaś, czy ten pręt jest ściskany, czy rozciągany, powie nam lot siły, wskazany na rysunku kratownicy.

Zauważmy, że jeśli przy budowie wykresu Cremony stosować się będziemy ściśle do wyłożonych zasad kolejności postępowania, to żadna linja w wykresie tym nie będzie się powtarzała dwa razy, lecz każda, raz wykreślona, będzie użyta dwukrotnie z przeciwnymi lotami. Z tego względu na wykresie Cremony lotów nie zaznaczamy.

#### 112. WYZNACZANIE SIŁ W PRĘTACH SPOSOBEM RITTERA.



Mówiliśmy wyżej, że sposobem Rittera posługujemy się wtedy, gdy chodzi o siłę, działającą w pewnym pręcie kratownicy, a nie o siły we wszystkich prętach.

Sposób ten polega na zastosowaniu jednego z 3-ch warunków równowagi



sił, rozważanej w statyce, mianowicie twierdzenia o sumie momentów statycznych układu sił, znajdujących się w równowadze. Aby wyjaśnić sposób Rittera przypuśćmy, że mamy znaleźć siłę w przecie 5 tej samej, co poprzednio kratownicy /rys.96/. W tym celu wyobrażamy sobie, że kratownica została rozcięta tak, aby przecięciu uległy tylko TRZY pręty, wśród których znajduje się pręt 5. Przypuśćmy, że przecięcie to zostało wykonane po linii XX i że prawa część kratownicy została odrzucona.

Aby mimo przecięcia pozostała część /lewa/ nie wyszła z równowagi, należy do prętów w miejscach przecięcia ich przyłożyć siły ZEWNĘTRZNE, równe tym, które działały w prętach przed przecięciem jako WEWNĘTRZNE. Siły te powinny działać w kierunku osi prętów przeciętych.

Oznaczmy te siły odpowiednio do numerów prętów przez  $S_3$ ,  $S_5$ ,  $S_6$  i przypuśćmy, że są one zwrócone NA-ZEWNĄTRZ względem rozpatrywanej części kratownicy. Jeśli przypuszczenie to nie jest słuszne, to błąd wyjdzie na jaw później.

Tak więc na lewą część kratownicy działają siły zewnętrzne  $A$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $S_3$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ; siły te są w równowadze. Z tego wynika, że suma ich momentów statycznych względem dowolnego punktu płaszczyzny kratownicy jest równa zeru.

Weźmy momenty względem punktu  $K$ , w którym przecinają się przedłużenia prętów 3 i 6. Oznaczając odległości sił  $A, P_1, P_2, S_5$  od tego punktu przez  $a_1, a_1, a_2, a_3$ , otrzymamy

$$A a_1 - P_1 a_1 + P_2 a_2 - S_5 a_3 = 0;$$

momenty sił  $S_3$  i  $S_6$  względem punktu  $K$  są równe zero. Zwróćmy tu uwagę na to, że, pragnąc znaleźć siłę  $S_5$ , obraliśmy punkt  $K$  na przecięciu się pozostałych dwóch sił nieznanymi  $S_3$  i  $S_6$ . Skutkiem czego momenty tych sił zginęły; wobec tego w równaniu otrzymanem mamy tylko jedną niewiadomą  $S_5$ .

Z poprzedniego równania znajdujemy:

$$S_5 = \frac{A a_1 - P_1 a_1 + P_2 a_2}{a_3}$$

albo, ponieważ  $A = \frac{1}{2} (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)$

$$S_5 = \frac{(P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 - P_1) a_1 + 2 P_2 a_2}{2 a_3},$$

ze względu na symetrię sił:  $P_1 = P_6, P_2 = P_5, P_3 = P_4$ , więc

$$S_5 = \frac{a_1 (P_2 + P_3) + a_2 P_2}{a_3}$$

Temu jest więc równa szukana siła w pręcie 5.

Gdyby chodziło o siłę w jakimś innym pręcie, np. 6, to należałoby wziąć momenty względem punktu przecięcia się przedłużeń prętów 3 i 5, t.j. względem węzła  $D$ .

Z otrzymanej odpowiedzi wynika: ponieważ  $S_5 > 0$  lot siły  $S_5$  obraliśmy trafnie - pręt jest więc ściśnięty. Gdyby lot był założony mylnie, to ujawniłoby się to tem, że w odpowiedzi dla  $S_5$  wypadłaby wartość ujemna.

113. Sposób Rittera nieraz musi być zastosowany w postaci odmiennej od poprzedniej. Naprz. niech będzie wymagane znalezienie siły w pręcie 8 poprzedniej kratownicy /rys.96/.

W tym celu przecinamy kratownicę wzdłuż linii YY tak, aby przeciętych prętów było najwyżej trzy i aby między niemi był pręt 8. Gdybyśmy chcieli pójść tą samą drogą, co w paragrafie poprzednim, należałoby znaleźć sumę momentów statycznych wszystkich sił, działających na lewą część kratownicy /siły te są:  $A, P_1, P_2, P_3, S_6, S_7, S_8$  / względem punktu, znajdującego się w przecięciu się prętów 6 i 7. Ponieważ w danym przypadku pręty 6 i 7 są równoległe, przeto punktu przecięcia się nie znajdziemy i o momentach statycznych nie będziemy mogli mówić. Wobec tego zastosujemy inne twierdzenie ze statyki, głoszące, że jeśli układ sił jest w równowadze, suma rzutów wszystkich sił na jakąkolwiek oś jest równa zeru.

W danym przypadku obieramy oś pionową, skierowaną dajmy na to, na dół.

Suma rzutów wspomnianych sił będzie:

$$-A + P_1 + P_2 + P_3 + S_8 \cdot \cos \alpha = 0.$$

Rzuty sił  $S_6$  i  $S_7$  są, oczywiście, równe 0; wobec tego siły  $S_6$  i  $S_7$  w równanie nie wejdą; dlatego też, nawiasem mówiąc, taki kierunek osi /pionowy/ obraliśmy.

Z ostatniego równania znajdujemy:

$$S_8 = \frac{1}{\cos \alpha} (A - P_1 - P_2 - P_3);$$

Ponieważ  $A = \frac{1}{2} (P_1 + P_2 + \dots + P_6),$

więc

$$S_8 = \frac{1}{2 \cos \alpha} (-P_1 - P_2 - P_3 + P_4 + P_5 + P_6),$$

Ze względu na założoną symetrię sił  $P_1 = P_6; P_2 = P_5; P_3 = P_4$

więc

$$S_8 = \frac{1}{2 \cos \alpha} \cdot 0 = 0$$

Oczywiście wynik, że  $S_8 = 0$ , jest tylko szczególnym przypadkiem.

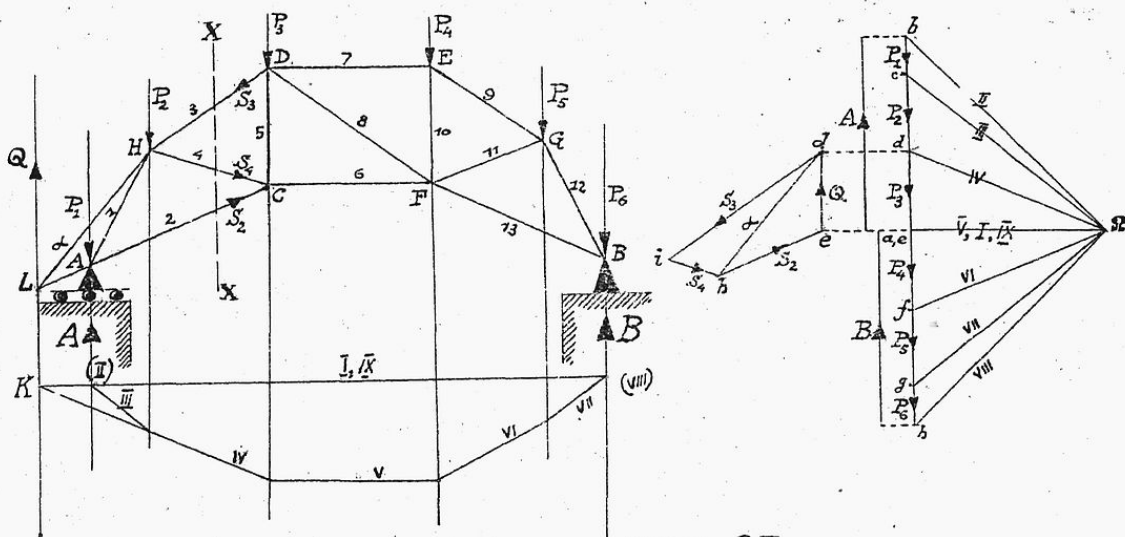
Wogóle otrzymalibyśmy pewną wartość na  $S_8$ .

Gdyby otrzymana wielkość była dodatnią, lot siły  $S_8$  założony na początku zadania, byłby skuszny, czyli pręt byłby rozciągany; gdyby zaś z ostatniego równania otrzymana wielkość była ujemną, byłoby to wskazówką, że lot siły jest odwrotny do założonego, czyli, że pręt byłby ściskany.

#### 114. WYZNACZANIE SIŁ W PRĘTACH SPOSOBEM CULMANNA.

Sposób Culmanna również pozwala obliczać siłę, działającą w dowolnym pręcie kratownicy, bez wyznaczania sił, w poprzedzających prętach. Różni się ten sposób od sposobu

Rittera tem, że posługujemy się w nim rozkładem siły na trzy składowe wykreślnie, a nie metodą momentów statycznych lub rzutów sił - rachunkowo, jak w sposobie Rittera.



RY.S. 97.

Na rys. 97 wskazane jest zastosowanie sposobu Culmanna do wyznaczenia siły w pręcie 4. Przedewszystkiem znajdujemy odpory  $A$  i  $B$ . Dalej, jak w metodzie Rittera, wyobrażamy sobie przecięcie XX tak, aby zostały przecięte tylko 3 pręty /3, 4, 2/ i między nimi pręt 4. Znajdujemy następnie wypadkową  $Q$  sił zewnętrznych  $A, P_1, P_2$  działających na lewą część kratownicy; wreszcie wypadkową  $Q$  zrównowazamy z trzema siłami w kierunkach prętów 2, 3 i 4.



Wypadkową  $Q$  znajdujemy wykreślnie zapomocą wieloboku sił i wieloboku sznurowego.

Postępujemy tu w sposób, objaśniony w paragrafach 25, 29. Wobec symetrii kratownicy i sił, do niej przyłożonych, otrzymujemy niektóre osobliwości w wykresie wieloboku sznurowego: bok II i VIII giną, zamieniając się w punkty, w których przecina się bok III z linią odporu  $A$ , względnie bok VII z linią odporu  $B$ ; pozatem bok zamykający I, IX ułoży się równolegle do boku V i wobec tego promienie I, IX pójdą wzdłuż promienia V.

Wypadkowa  $Q$  sił  $A, P_1, P_2$  — w wieloboku sił  $abcd$  przedstawiona jest jako zamykający bok  $ad$ . Ponieważ przed siłą  $Q$  mamy promień I, za nią promień IV, więc linia działania wypadkowej  $Q$  przejdzie przez punkt  $K$ , w którym przecinają się bok I i IV.

Znalezioną wypadkową  $Q$  należy zrównoważyć siłami 2, 3 i 4. Postępujemy tu zgodnie ze wskazówkami, podanymi w par.23: przedłużamy linię działania siły 2 do przecięcia się z siłą  $Q$  w punkcie  $L$  i łączymy punkty  $H$  z  $L$  prostą  $\alpha$ . Na wykresie — w sąsiedztwie wieloboku sił — równoważymy siłę  $Q$  siłami 2, 3 i 4, budując w znany sposób wielobok  $edib$ ; z niego znajdujemy siłę 4 równą odcinkowi  $ib$ . Siła ta w pręcie 4 działa na prawo od rozpatrywanej części lewej, czyli że pręt 4 jest z taką siłą rozciągany. Wreszcie jednocześnie znajdujemy siły

115. JAK WYKONAĆ WYKRES CREMONY, KIEDY WSZYSTKIE

\_\_\_\_\_



\*\*\*\*\*