

węzłniku podpartym płotkiem z narzutem kamiennym.

Profil i grubość cegieł Decauville'a są zdaniem

Systemy dachów więzwarowych jako kratownice przestrzenne.

Dachy żelazne składają się w istotnej swej części zwykle z pojedynczych więzwarów płaskich, które połączone są tak dla celów teoretycznych, jakoteż praktycznych, zapomocą części ustrojowych drugorzędnych. System takich więzwarów tworzy zatem w swej całości kratownicę przestrzenną. — Zbadanie tej kratownicy pod względem statycznym jest celem niniejszej pracy.

Tematem tym zajmował się już Föppl¹⁾ w r. 1892 a od tego czasu nikt, pomimo, że wobec postępów budownictwa żelaznego należałoby poddać pewnej rewizji jego wywody.

Przedewszystkiem należy odpowiedzieć na pytanie, poco zastanawiamy się nad przestrzenną statyczną wyznaczalnością układów płaskich, dla czego chodzi nam o to, aby z jednej strony nie uzyskać ustroju przestrzennego statycznie niewyznaczalnego, a z drugiej chwiejnego.

Na drugie pytanie odpowiedź jest łatwa. — Dach, — system dachowy wystawiony jest na wpływ sił, działających nietylko w płaszczyźnie więzara. Wiatr działać może ze wszystkich stron, a zatem może mieć — i ma — składową (choć zwykle niewielką) nie leżącą w tej płaszczyźnie; dach musi tę siłę znieść, nie może się jej poddać. — Uzyskujemy to przez wprowadzenie prętów łączących poszczególne więzary w kratownicę przestrzenną, czyli t. zw. tężniki.

Z drugiej strony staramy się o to, aby ustrój był w swej całości statycznie wyznaczalny. Nie dlatego, aby uniknąć żmudnego i z natury rzeczy niedokładnego obliczenia kratownic przestrzennych statycznie niewyznaczalnych, bo sił w dachach więzwarowych nigdy w ten sposób nie wyznaczamy. O statyczną wyznaczalność chodzi głównie ze względu na zmiany ciepłoty i jasność działania sił.

Jasność działania sił odgrywa tu tę rolę, że ustrój statycznie niewyznaczalny może posiadać nateżenia w prętach nawet bez obciążenia zewnętrznego — nateżenia, powstające np. wskutek niedokładności wykonania, gdy w zeskładzie statycznie wyznaczalnym siły wewnętrzne powstać mogą wyłącznie wskutek obciążenia zewnętrznego.

To samo dotyczy i zmian ciepłoty. Pręty ustroju statycznie wyznaczalnego, wydłużając i skracając się pod jej wpływem powodują przesunięcia węzłów i zmianę kształtu belki kratowej na podobny do pierwotnego²⁾, ale bez wywołania jakichkolwiek nateżeń (czywiście teoretycznie³⁾). — Inaczej kratownica statycznie jest niewyznaczalna. — Tu ciepłota, odkształcając belki, sprawia nateżenia wewnętrzne, a w dalszej konsekwencji znowu niejasność i niepewność co do rozkładu sił wewnętrznych.

To są powody, dla których rozważyć należy i przestrzenną statyczną wyznaczalność systemów

mojem ze znanych sposobów najkorzystniejsze wskutek gibkości całości i łatwość dostosowania okładziny do kształtu terenu.

dachowych, pomimo, że ich nie liczymy, jako kratownice przestrzenne. Raz dlatego, że obliczenie kratownic przestrzennych, nawet statycznie wyznaczalnych, jest dość żmudne i dające wyniki stosunkowo dalekie od prawdy z powodu założeń niezgodnych z rzeczywistością, powtóre dlatego, że działają tu głównie ciężary, leżące w płaszczyźnie więzwarów, a jako takie wywołują tylko w nich siły osiowe (w kratownicach statycznie wyznaczalnych). Innych zaś części dachu tj. tężników pionowych, połączeniowych i płatwi (na siły osiowe) zwykle nie obliczamy.

Jakże przedstawia się system, układ dachowy?

Poszczególne więzary płaskie, statycznie wyznaczalne, a więc posiadające przy n węzłach $2n-3$ prętów istotnych i 3 pręty podporowe (razem $2n$), połączone są z sobą zapomocą już konstrukcyjnie potrzebnych płatwi, umieszczonych w węzłach górnych, oraz zapomocą tężników (fig. 1).

Płatwie leżą oczywiście pomiędzy wszystkimi więzarami. Tężniki połączeniowe łączą zwykle po parze więzarów z sobą w kocioł przestrzenny. Robimy je albo z kątówek, dając po jednej lub po dwie w polach, ograniczonych pasem górnym więzarów i płatwiami, albo, umieszczając w każdym polu po dwie przekątnie gibkie, zwykle z żelaza okrągłego¹⁾. Wreszcie tężnik pionowy możemy wytworzyć jako krzyż ukośny między dwoma więzarami, albo też jako belkę kratową²⁾.

Otóż — podobnie jak w budowie mostów, tak i tutaj daje się odczuć mimowiedne dążenie inżynierów, dla uzyskania najprzejrzystszej formy kratownic przestrzennych, — do kratownicy plecionej. Dwa więzary, połączone tężnikami połączeniowymi, tworzą taką (choć niepełną) kratownicę plecioną. Idąc konsekwentnie w tym kierunku dojszby można przy dachach, (a także przy mostach o większej liczbie belek głównych) do podziału całego układu na poszczególne kratownice plecione, połączone tylko płatwiami lub wogóle dźwigarami drugorzędymi. Byłoby to jednak możliwe tylko wtedy, gdyby te dźwigary między plecionkami nie działały jako pręty kratownic, tj. nie przenosiły sił osiowych. Te płatwie zatem — w przeciwieństwie do płatwi, wchodzących w skład kratownic plecionych, musiałyby być jednym końcem przesuwalnie ułożone. Systemu takiego jednak, rozdzielaającego układ więzarów na

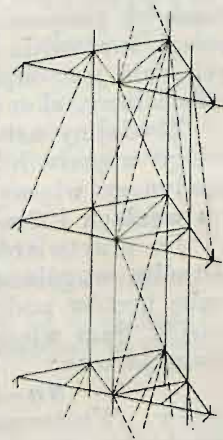


Fig. 1.

¹⁾ O najwłaściwszym ustroju tężników połączeniowych pomówimy później.

²⁾ Na fig. 1 płatwie i pasy tężników pionowych zrobione są liniami pełnymi, tężniki połączeniowe liniami „kreska-kropka“, — wreszcie krzyże ukośne liniami kreskowanymi.

¹⁾ Dr. August Föppl. *Das Fachwerk im Raume*. Lipsk 1892, str. 144 i n.

²⁾ O ile dach jest jednostajnie ogrzany.

³⁾ Przy przyjęciu węzłów przegibnych.

poszczególne koźły przestrzenne, niezależne od siebie, nie można wogóle polecać.

Łącząc bowiem płatwie stale z dźwigarami, korzystać z nich możemy także jako z prętów, przyczyniających się do sztywności całego układu przestrzennego, a korzystać tę utracilibyśmy, dając im łożyska przesuwowe. O ile więc przekonaliśmy się, że istnieją pręty nadliczbowe, byłoby racjonalniej opuścić zupełnie te pręty, a nie usuwać płatwi z teoretycznej całości.

Przejdźmy z kolei do roli, jaką odgrywają tężniki.

W przeciwieństwie do tężników mostowych, nie występują w nich prawie zupełnie siły wskutek parcia wiatru. Parcie to — o ile działa w kierunku prostopadłym do wieżarów — przenosi się w zwykłych przypadkach na mury czołowe. I tylko, gdy są one za słabe, by działanie to przejąć, lub gdy ich niema zupełnie, — tylko wtedy wiatr działa na tężniki „wiatrowe“ a i w tym przypadku działanie to ogranicza się tylko na najbliższe sąsiedztwo skrajnego wieżara.

Ale tężniki i płatwie mają jeszcze jedno zadanie. Utrzymują one węzły wieżarowe w płaszczyźnie tegoż i to węzły pasu ciśnionego, a więc narażonego na wyboczenie. Siły, występujące z tego powodu są zresztą niewielkie i mogłyby zostać przejęte śmiało przez same płatwie, które i tak mają nadmiar materiału; tej korzyści, jaką dają płatwie, nie należy się pozbywać przez ruchome ich podparcie. Wynika stąd, że i podział na szeregi kratownic plecionych, obok siebie stojących, nie jest odpowiedni i lepiejby było wprowadzić inny, ekonomiczniejszy układ.

Zbadajmy zatem, ile prętów potrzeba, by do stałego wieżara lub ciała sztywnego przytwierdzić pojedynczy wieżar płaski statycznie wyznaczalny o n węzłach i $2n-3$ prętach istotnych.

Do przytwierdzenia n węzłów w przestrzeni, potrzeba wogóle $3n-a$ prętów, gdzie a oznacza liczbę prętów podporowych tegoż wieżara. U nas $a=5$ ¹⁾. Sam wieżar ma $2n-3$ prętów. Potrzeba zatem jeszcze:

$$3n-5-2(n-3)=n-2$$

prętów. Wystarczyłoby więc połączyć pojedynczymi prętami wszystkie wolne węzły wieżara.

Połączenie będzie sztywne, jeśli dla każdego obciążenia możemy uzyskać system równowagi sił wewnętrznych. Przy takim układzie składową, leżącą w płaszczyźnie wieżara, przenoszą pręty tegoż. Składową prostopadłą doń przenieść mają owe pręty łączące.

Na fig. 2 wieżary I—II tworzą niezupełną kratownicę plecioną, jednak, ze względu na rodzaj podparcia stałą. W skład jej wchodzi bowiem $2n$ węzłów, oraz $2(2n-3)$ prętów wieżarowych, $(2n-4)$ prętów łączących i 10 prętów podporowych, wogóle zatem:

$$2(2n-3)+(2n-4)+10=3n$$

prętów, ułożonych w ten sposób, że wyznacznik, służący do oceniania statycznej wyznaczalności układu, nie jest równy zeru. Trzeci wieżar przytwierdzony jest do tej kratownicy w sposób wyżej podany.

Tężniki połaciowe wystarczy zatem umieścić między jedną parą wieżarów. Pręty łączące na-

stępne w pasie górnym istnieją; — są nimi płatwie. Natomiast zwykle niema ich w węzłach dolnych¹⁾. Pręty tężników połaciowych nie zastępują ich — choć liczbą co najmniej równą — gdyż pas dolny nie ma zupełnie prętów, przenoszących składowe siły zewnętrznych, prostopadłe do wieżara. Jednocześnie sił tych albo niema wcale, albo są tak małe, że już sztywność węzłów wystarczy do ich zniesienia. Prócz tego niebezpieczeństwo wyboczenia w pasie dolnym ciągnionym, nie istnieje. Można więc śmiało wykonać wieżary, połączone tylko górną płatwiami, a dołem nieusztywnione²⁾.

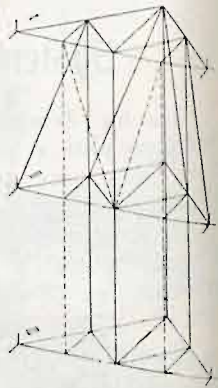


Fig. 2.

Przy większej liczbie wieżarów zatem płatwie wystarczają do stężenia poprzecznego. Dla lepszego usztywnienia też bardzo pożądanym jest tężnik pionowy. Tężniki połaciowe na pasie górnym potrzebne są tylko w jednej parze wieżarów; — na pasie dolnym dawać ich nie potrzeba.

W jednym tylko przypadku występują tu większe siły nie w płaszczyźnie wieżara; — mianowicie, gdy w węzłach dolnych A zawieszony jest tor żurawia fabrycznego P (fig. 3). Wtedy

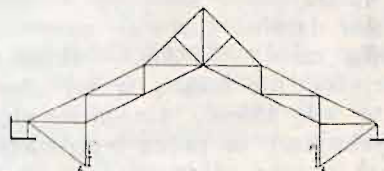


Fig. 3.

jednak w węzłach tych sam dźwigar podtorowy stanowi pręt działający w ten sam sposób, co płatwie w węzłach górnych.

Gdy mury szczytowe są dość silne, aby przejąć parcie wiatru, nie potrzebne są tężniki nawet w skrajnej parze wieżarów; wtedy można użyć wprost tych murów do ustalenia całości układu, umieszczając w nich stale płatwie, i to tylko po jednej stronie budowli. Po drugiej stronie wystarczy płatwie umieścić przesuwalnie jednym końcem. Wtedy końce płatwi skrajne, mурowe uważane jako węzły, są przytwierdzone jednym prętym istotnym, a dwoma podporowymi; — całość jest zatem statycznie wyznaczalna.

W przeciwnym razie, tj. gdy mury szczytowe są zbyt słabe, aby przejąć mogły całkowite parcie wiatru, należałoby umieścić jeden układ tężników między dwoma wieżarami przyczelnymi. Przy dachach dłuższych lepiej jest ze względów praktycznych utworzyć dwie takie kratownice przestrzenne — po jednej obok każdego muru szczytowego. Wtedy trzeba jednak gdziekolwiek w środku opuścić z całości dachowej w jednym polu płatwie, a więc wytworzyć je jako dźwigary drugorzędne, na jednym końcu przesuwalnie. Możemy uważać je zresztą nawet jako pręty istotne, wchodzące w skład układu, a przesuwalność uwzględnić, przyjmując dwa pręty podporowe,

¹⁾ Wchodzi tu w grę: jedno łożysko stałe, drugie przesuwalne w jednym kierunku, zatem przy rozważaniu płaszczyznowej wyznaczalności dajemy pięć ($=3+2$) prętów podporowych. W płaszczyźnie łożyska te zastąpić można trzema ($=2+1$) prętami.

¹⁾ Z wyjątkiem pasu dolnego tężnika pionowego, wykształconego jako krzyż ukośny.

²⁾ Na fig. 2 pełnymi liniami zrobione są pręty, w praktyce wykonywane (por. uwaga poprzednia); liniami kreskowanymi pręty, których zwykle niema.

łączące koniec ruchomy płatwi A_1' z odpowiednim więzarem $A' B' C' \dots$ (fig. 4), przyczem pręt $A' A_1'$ (w kierunku siły zewnętrznej) ma długość równą odstępowi osi płatwi od osi pasa górnego.

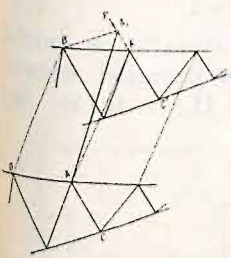


Fig. 4.

uniknięcia statycznej niewyznaczalności albo dać połączenie płatwi ruchome, albo też, co wypada ekonomiczniej ze względu na ilość materiału, zastosować płatwie przegubowe, przyczem ustrój wygląda, jak fig. 5. W tym razie i tężnik pionowy należy rozmieścić tylko w polach kratownicy plecionych¹⁾.

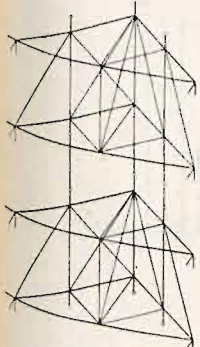


Fig. 5.

Wywody te są ważne nie tylko dla dachów, skonstruowanych jako belki proste. Dla dachów łukowych trójprzegubowych dochodzimy do tych samych rezultatów. Więzary takie ma $2n-4$ prętów istotnych i 6 (przestrzennych) podporowych. Do przytwierdzenia jego n węzłów potrzeba zatem

$$6n - (2n - 4) - 6 = n - 2$$

prętów.

Tę samą liczbę prętów łączących otrzymamy dla wszystkich więzarów płaskich statycznie wyznaczalnych, np. dla więzarów przegubowych na słupach pośrednich. Tutaj otrzymamy (fig. 6) też $2n-4$ prętów istotnych i 6 podporowych²⁾.

¹⁾ W tym razie płatwie należy uważać nie za pręty, ale za tarcze sztywne, co zresztą na tok wywodów nie wpływa.

²⁾ Tarczę sztywną $CDEF$ uważamy za pręt podporowy.

Do przytwierdzenia zatem potrzeba:

$$3n - (2n - 4) - 6 = n - 2.$$

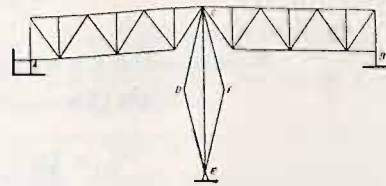


Fig. 6.

Inaczej nieco rzecz się przedstawia przy ustrojach statycznie niewyznaczalnych, np. przy dachach łukowych dwuprzegubowych, o $2n-3$ prętach istotnych i 6 podporowych. Tu otrzymalibyśmy $n-3$ prętów łączących, dając jednak znowu tylko płatwie w węzłach górnych. Ustrój jednak statycznie wyznaczalny już być nie może — nawet przy odpowiedniej liczbie prętów — ze względu na statyczną niewyznaczalność („ponadwyznaczalność“) swoich części (więzarów płaskich).

Dodam jeszcze parę słów o najracjonalniejszym systemie tężników połaciowych. Jeśli chodzi o uzyskanie statycznej wyznaczalności, to podwójne tęgie przekątnie (kątowniki) nie są odpowiednie, gdyż wypełnione przez się pola robia statycznie niewyznaczalnemi. Również podwójne przekątnie gibkie nie dają najlepszego ustroju. Wprawdzie w normalnych warunkach działać może tylko jedna z nich, jednakowoż przy ugięciu belki obie wyginają się nieco i przestają działać, dopóki składowa siła zewnętrznej, prostopadła do więzara, nie wywoła nateżeń w jednej z nich.

Obu wad tych nie ma ustrój z pojedynczemi przekątniami tęgiemi z kątownek lub wogóle sztywnych przekrojów i dlatego jest najodpowiedniejszy. Przekątnie gibkie polecieć można tylko w polach świetlni dachowych, widzialnych z dołu — a to ze względów estetycznych.

Dr. Stefan Władysław Bryła.

rowy. — Uczynić to przyjęcie można, o ile w węzłach D i F nie zaczepiają siły prostopadle do płaszczyzny tej tarczy.

Kilka słów o tyczeniu łuków.

Wzorując się na sposobie wytyczania łuków za pośrednictwem odcinków na linii kierunkowej, prostopadłej do stycznej, [Tyczenie tras, Prof. K. Skibiński str. 43 §. 23. O wytyczaniu łuków. Ludwik Regiec] przy zastosowaniu elementów stanowiących wielobok opisany, podają podobny sposób wytyczania łuków, lecz przy zastosowaniu elementów jako cięciw, stanowiących wielobok wpisany.

Z załączonego rysunku wynika:

$$y_1 = D \operatorname{tg} \alpha$$

$$y_2 = (D - a_1) \operatorname{tg} 3\alpha$$

$$y_3 = (D - a_2) \operatorname{tg} 5\alpha$$

$$y_n = (D - a_{n-1}) \operatorname{tg} (2n-1)\alpha$$

Z trójkątów PAI , $PBII$, $PCIII$ itd. otrzymamy

$$a_1 = \frac{b_1 \sin 2\alpha}{\sin (180 - 3\alpha)} = \frac{b_1 \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha}$$

$$a_2 = \frac{b_2 \sin 3\alpha}{\sin (180 - 5\alpha)} = \frac{b_3 \sin 3\alpha}{\sin 5\alpha}$$

$$a_n = \frac{b_n \sin (n+1)\alpha}{\sin [180 - (2n+1)\alpha]} = \frac{b_n \sin (n+1)\alpha}{\sin (2n+1)\alpha}$$

a że $\frac{b_1}{2} = r \sin \alpha$ więc $b_1 = 2r \sin \alpha$

$$\frac{b_2}{2} = r \sin 2\alpha \quad , \quad b_2 = 2r \sin 2\alpha$$

$$\frac{b_n}{2} = r \sin n\alpha \quad , \quad b_n = 2r \sin n\alpha$$

zatem po wstawieniu wartości za b_1, b_2, \dots, b_n będzie:

$$a_1 = \frac{2r \sin \alpha \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha}$$

$$a_3 = \frac{2r \sin 2\alpha \sin 3\alpha}{\sin 5\alpha}$$

$$a_n = \frac{2r \sin n\alpha \sin (n+1)\alpha}{\sin (2n+1)\alpha}$$

a nakoniec:

$$y_1 = D \operatorname{tg} \alpha = D \operatorname{tg} \alpha$$

$$y_2 = (D - a_1) \operatorname{tg} 3\alpha = D \operatorname{tg} 3\alpha - r \frac{2 \sin \alpha \sin 2\alpha \operatorname{tg} 3\alpha}{\sin 3\alpha}$$