7 Węzły kratownic

7.1 Wprowadzenie

Różnorodność kształtów węzłów, które będą dalej przedstawiane, wynika z zastosowań układów kratowych jako samodzielnych konstrukcji, bądź jako ich elementów składowych, czy też wreszcie części innych układów szkieletowych lub pełnościennych. Ta wielość i wszechstronność zastosowań przyczynia się do projektowania rozwiązań geometrycznych i technologicznych najbardziej odpowiednich w spotykanych sytuacjach użytkowych, konstrukcyjnych i ekonomicznych. Te rozwiązania powinny być w miarę proste ze względu na ich wykonanie, a zarazem bezpieczne ze względu na wymaganą nośność elementów i części, których są podstawowymi składnikami.

Kratownicą nazywa się geometrycznie niezmienny układ prętów, składający się z pasów (prętów zewnętrznych) oraz łączącego je wypełnienia w postaci krzyżulców i słupków, bądź tylko krzyżulców. Pręty tworzące kratownicę mogą być rozmieszczone w jednej płaszczyźnie (kratownicy płaskiej) lub w przestrzeni (kratownicy przestrzennej). Ich zastosowanie w budownictwie jest powodowane łatwością nadawania im dowolnych form geometrycznych, optymalnych ze względu na rodzaj przenoszonych obciążeń, kształtowanie wewnętrznej przestrzeni budynku i jego bryły zewnętrznej, wynikające ze sposobu użytkowania, jak również z potrzeb architektonicznych i estetycznych.

Rzeczą konstruktora jest takie nadawanie kształtów prętom i węzłom, aby nie stały one w sprzeczności ze wszelkimi względami bezpieczeństwa, wytwarzania, użytkowania, ekonomii i estetyki. W związku z tym inaczej projektuje się elementy (w tym ich węzły), które są obserwowane z większej odległości, a inaczej te, które są obserwowane w bliskim ich położeniu.

Klasycznym podejściem do kratownic zarówno płaskich jak przestrzennych jest ich traktowanie jako układów statycznych o przegubowym łączeniu prętów w węzłach. Takie podejście jest przydatne do bardzo wielu układów kratowych, stosowanych w różnorodnych sytuacjach projektowych. Posługiwanie się nim, chociaż potwierdzone długoletnią praktyką budownictwa stalowego, obecnie jednak wymaga spełnienia szeregu wymogów, aby bezpieczeństwo konstrukcji było zawsze zapewnione.

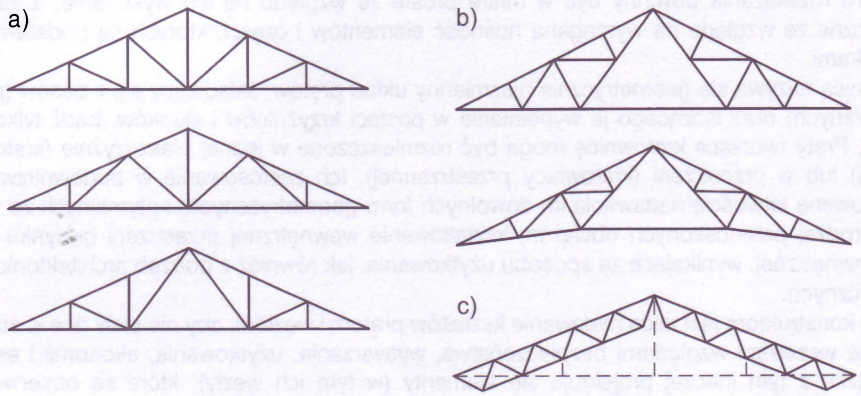
Gdy spełnienie tych wymogów nie zawsze staje się możliwe, wówczas układ kratowy jest rozpatrywany przy założeniu węzłów sztywnych. Sama geometria układu konstrukcyjnego, praktycznie rzecz biorąc, niczym nie różni się od kratownicy przegubowej, jednak jej pręty i węzły doznają sił wewnętrznych właściwych układom ramowym. Są także podejmowane próby rozpatrywania takich układów o węzłach podatnych, ale na razie problemy okazują się w wielu sytuacjach trudne do klasyfikacji.

Mimo wspomnianej różnorodności układów kratowych i ich węzłów długoletnia praktyka projektowa pozwoliła na pewne usystematyzowanie grup węzłów o kształtach ogólnie podobnych, a różniących się detalami. Jest to związane z zastosowaniami w układach płaskich i przestrzennych. Dlatego w sposób możliwie krótki zostaną omówione zasady kształtowania dachowych kratownic płaskich i przestrzennych lub kratownic układów konstrukcyjnych specjalnych zastosowań.

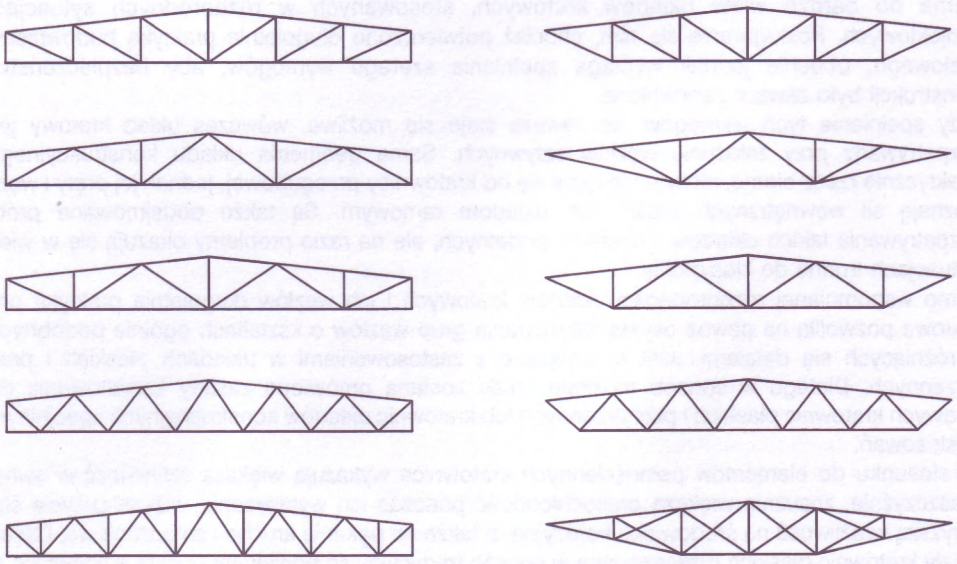
W stosunku do elementów pełnościennych kratownice wykazują większą sztywność w swojej płaszczyźnie, znacznie większą pracochłonność podczas ich wytwarzania, niższe zużycie stali i wyższą wrażliwość na środowisko korozyjne, a także na pękanie kruche i zmęczeniowe. Często węzły kratownic płaskich rozwiązywane w sposób tradycyjny są ogniskami korozji. Kratownice są też mało odporne na zagrożenie ogniowe.

7

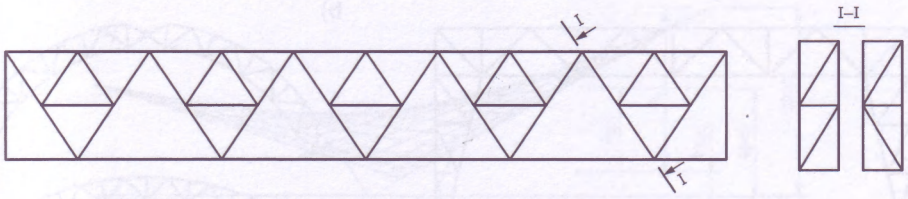
Kratownicę płaską tworzy układ prętów, których osie leżą w jednej płaszczyźnie. Jest to zwykle płaszczyzna symetrii kratownicy, chociaż w pewnych sytuacjach spotyka się od tego odstępstwo, gdy słupki lub krzyżulce są prętami o przekrojach rozmieszczonych niesymetrycznie.
Ogólny obrys kratownicy może być trójkątny, prostokątny, trapezowy (dwutrapezowy) lub krzywoliniowy. Zakres ich zastosowania do wiązarów dachowych oraz zalety lub niedostatki spotykanych skratowań jest opisywany w podręcznikach budownictwa stalowego (jak np. [1.39, 1.43, 1.44, 7.1 do 7.4]). Najczęściej spotykane rodzaje skratowań w wiązarach i podciągach dachowych o obrysie trójkątnym, trapezowym i prostokątnym przedstawiono na rys. 7.1 do 7.3. Na podobnych zasadach kształtuje się geometrię skratowań w wiązarach jednospadkowych lub dwuspadkowych o pasach równoległych.



Rys. 7.1 Trójkątne wiązary dachowe: a) o niedużej rozpiętości, b) o średniej rozpiętości, c) ze ściągiem



Rys. 7.2 Wiązary dachowe o obrysie dwutrapezowym



Rys. 7.4 Kratownica czteropasowa

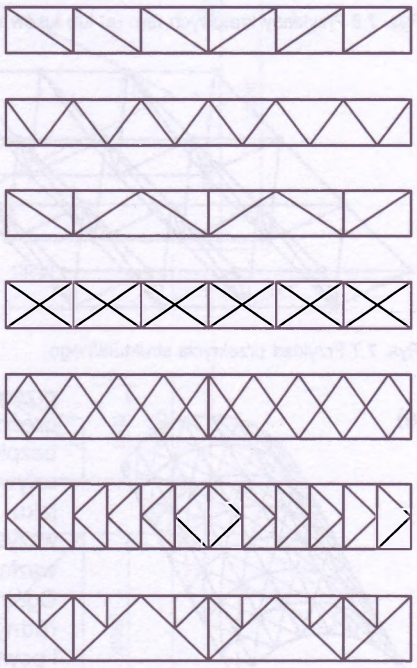
Elementy dachów o dużych rozpiętościach tworzy się z rozwiązań przedstawionych na rys. 7.3, uzupełniając skratowanie tzw. drugorzędnym zawieszeniem, którego ideę pokazano na rys. 7.4. Są to najczęściej kratownice zdwojone z układów płaskich, połączonych wzajemnie dodatkowym skratowaniem w płaszczyznach słupków lub krzyżulców.

Ze względu na montaż blokowy dachu, a także biorąc pod uwagę możliwość wykorzystania nachylonych płaszczyzn do oświetlenia wnętrza, projektuje się wiązary trójpasowe (rys. 7.5). Podwojeniu ulega pas górny lub dolny. Skratowanie inne niż typu V nie jest na ogół zalecane. Taki wiązar traktuje się jako zespół kratownic płaskich wskutek podziału obciążenia na poszczególne płaszczyzny skratowań.

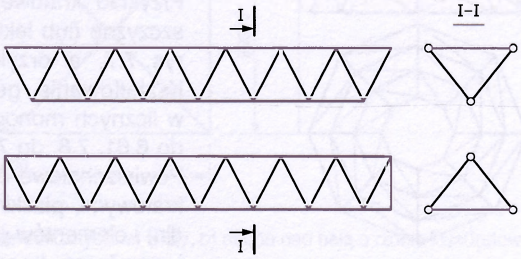
Podobne do opisanych skratowania stosuje się w kratowych ramach lub łukach (rys. 7.6), a także dodatkowe kombinacje w dachach pilastych lub w ramach o kratowych wiązarach (ryglach) i pełnościennych słupach (por. [1.43, 7.3 do 7.7]).

Według niektórych układów skratowań, przedstawionych dotychczas, są projektowane również belki podsuwnicowe hal przemysłowych i magazynowych oraz estakad, a także suwnice bramowe na składowiskach. Są to zwykle zespoły elementów płaskich i jako takie są kształtowane i obliczane. Ich węzły nie będą jednak omawiane, gdyż obecnie kratowe belki podsuwnicowe są stosowane rzadko ze względu na często niekorzystne kształty przy obciążeniach, powodujących zmęczenie. Natomiast bramowe suwnice są bliższe pod względem kształtowania geometrycznego i obciążeń mostom stalowym, a węzły tych konstrukcji nie zostały ujęte programem niniejszej monografii.

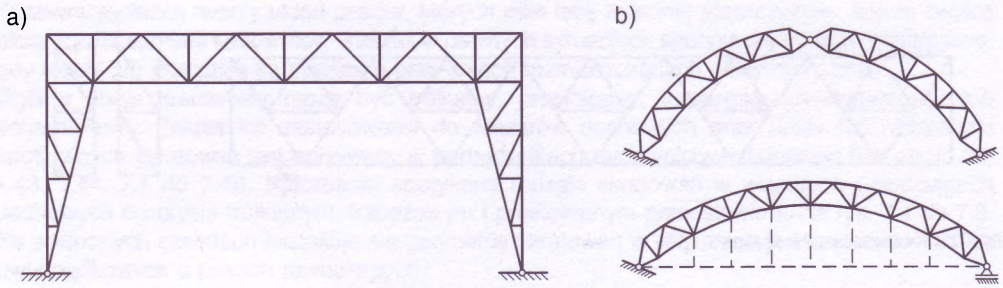
Kratownicę przestrzenną tworzy układ prętów, których węzły leżą w kilku płasz-



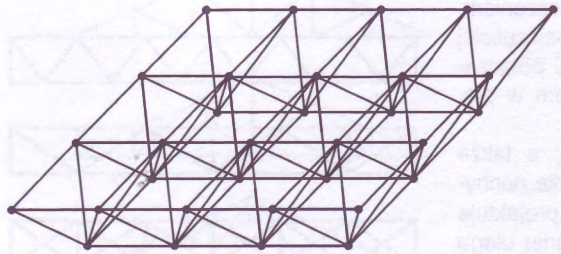
Rys. 7.3 Podciągi dachowe o średniej i dużej rozpiętości



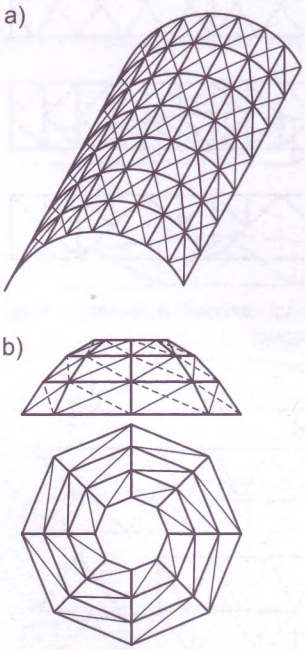
Rys. 7.5 Wiązary trójpasowe



Rys. 7.6 Przykłady kratowych ram (a) lub łuków (b)



Rys. 7.7 Przykład przekrycia strukturalnego



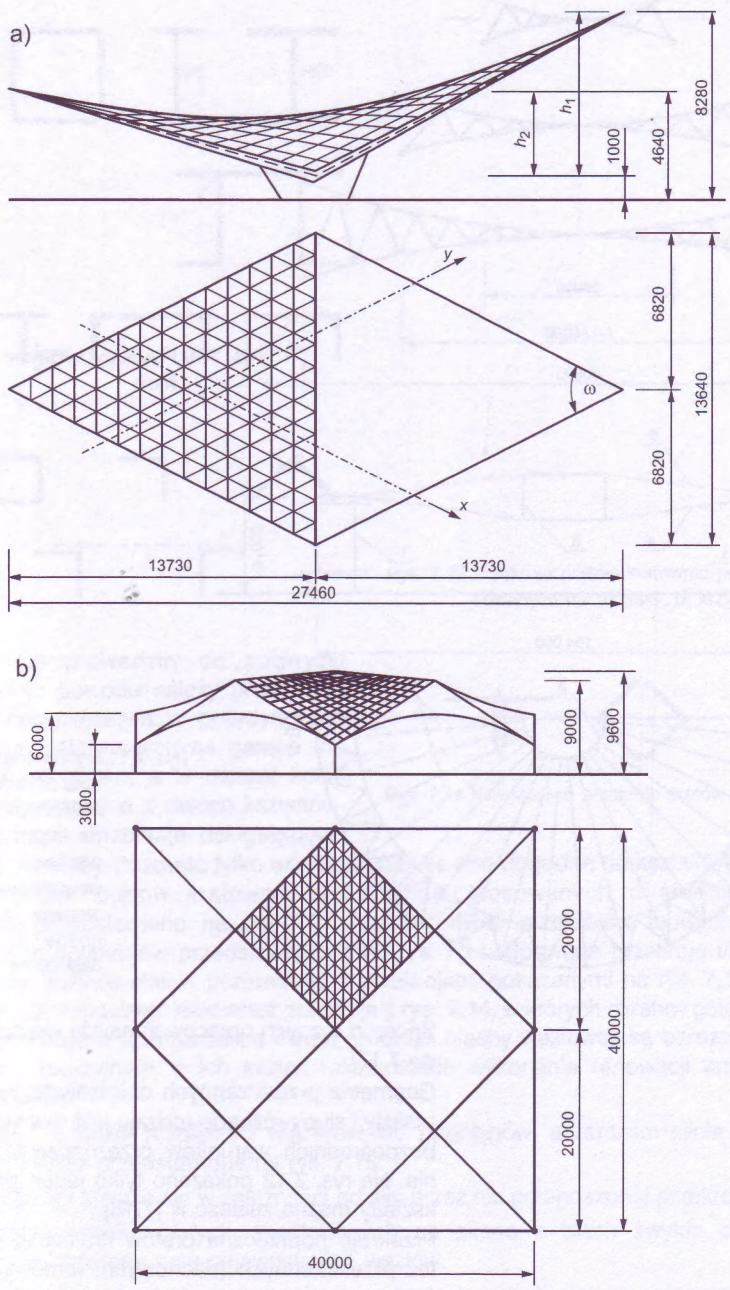
Rys. 7.8 Przykłady powłok: a) sklepienie walcowe, b) kopuła

czyznach (rzadziej na kilku powierzchniach), albo na jednej powierzchni (powłoce), pręty ich zaś jako elementy proste łączą te węzły. Na ogół pręty są wzajemnie połączone współosiowo, jednak jest wiele konstrukcji przestrzennych, gdy krzyżulce, a nawet słupki i pasy (krawężniki) w węzłach są układane na mimośrodach. Olbrzymia większość stosowanych węzłów jest traktowana i konstruowana jako przegubowe, ale we współczesnych rozwiązaniach coraz częściej ich kształtowanie skłania projektantów do oceny bezpieczeństwa przy rozpatrywaniu węzłów jako elementów sztywnych. Te zagadnienia są jednak związane z konstrukcją jako całością i odpowiednie podejście wynika przede wszystkim z jej skomplikowanego układu, a przyjęcie rodzaju węzła jest już skutkiem tego układu.

Ogólny obrys kratownic przestrzennych jest bardzo różnorodny, począwszy od układów wielopłaszczyznowych i powłokowych (jak np. sklepienia, kopuły, wycinki paraboloid itp.), a kończąc na kształtach związanych ściśle z przeznaczeniem (jak np. słupy przesyłowych linii energetycznych, słupy oświetleniowe, maszty i wieże radiowe i telewizyjne, telekomunikacyjne i inne).

Przykład kratowej konstrukcji przestrzennej, tworzącej płaszczyznę (lub lekko uwypukloną powierzchnię) pokazano na rys. 7.7, a przykłady powłok na rys. 7.8 i na rys. 7.9. Kształtowanie geometryczne tych konstrukcji omówiono w licznych monografiach lub podręcznikach (np. [6.53, 6.58 do 6.61, 7.8. do 7.13]).

Powierzchniowe dachy o dużej rozpiętości, będące układami kratowymi, płaskimi lub przestrzennymi, budowane z cięgien (lin) i elementów prętowych są bardzo różnorodnych kształtów i rozwiązań konstrukcyjnych. Dwa przykłady kształtowania geometrycznego przedstawiono na rys. 7.10 i na rys. 7.11.



Rys. 7.9 Przykłady powłok o kształtach paraboloid hiperbolicznych: a) wiaty, b) dachu nad halą o rzucie kwadratowym