

TECHNOLOGIA WYKONAWSTWA

ANNA BOGUSZ

ZBROJENIE SPAWANE W PŁYTACH I BELKACH STROPOWYCH
NA PAŁACU KULTURY I NAUKI IM. J. STALINA

Na budowie Kombinatoru im. W.I. Lenina w Nowej Hucie rozpoczęto po raz pierwszy w Polsce przy wydatnej pomocy budowniczych P. K. i N. stosowanie zbrojenia spawanego. Niewątpliwie ten sposób zbrojenia znajdzie szerokie zastosowanie w naszym budownictwie. Niniejszy artykuł ma na celu zapoznanie czytelnika z zasadami projektowania tego typu zbrojenia, zgodnie z doświadczeniami PKiN.

Jednym z ciekawszych przykładów metod przemysłowych na budowie Pałacu Kultury i Nauki im. J. Stalina jest produkcja i zastosowanie spawanego zbrojenia do konstrukcji żelazobetonowych, prefabrykowanych i monolitycznych¹⁾. Zbrojenie spawane wykonuje się w formie siatek i szkieletów płaskich przy pomocy zgrzewania punktowego na specjalnych zgrzewarkach i spawania łukowego (przy większych średnicach).

Wprowadzenie zbrojenia spawanego usprawnia roboty zbrojarskie i przyspiesza kilkakrotnie ułożenie zbrojenia na budowie, pozwala na zmniejszenie ilości stali zbrojeniaowej przez uniknięcie haków na końcach prętów, odgiętych części prętów kotwiących, drutu do wiązania itp.

Dzięki połączeniu oddzielnych prętów w siatki i szkielety przy pomocy spawania, poprzeczne pręty ułożone wzdłuż każdego pracującego pręta tworzą rodzaj kotw zabezpieczających dostateczne zamocowanie jego w betonie, tj. uzyskuje się w ten sposób dobrą przyczepność prętów z betonem na całej długości elementu.

Stal używana do zbrojenia spawanego musi posiadać oprócz cech normalnych kwalifikujących ją na zbrojenie konstrukcji żelbetonowych, właściwości stali nadającej się do spawania. Spawanie stali ustala się na podstawie jej chemicznego składu i jednorodności struktury.

Badania i wyniki doświadczeń wykazały, że do spawanego zbrojenia należy stosować tylko stal znakowaną, o gwarantowanej zawartości węgla, siarki oraz fosforu.

Wychodząc z powyższych założeń, normy radzieckie zalecają jako najlepiej spawalne: stal okrągłą St — 3 i stal spiralnie żebrowaną walcowaną na gorąco St-5.

Stal spiralnie żebrowana walcowana na gorąco St-5 jest stosowana masowo do wszystkich konstrukcji żelbetonowych na budowie PKiN, łącznie z konstrukcją fundamentową. Stal ta należy do stali wysokowartościowych o obliczeniowej granicy plastyczności $Q_r = 3500 \text{ kg/cm}^2$. W ZSRR zbrojenie wykonywane ze stali spiralnie żebrowanej jest bardzo rozpowszechnione. Stal ma wygląd okrągłych prętów ze spiralnymi podłużnymi żeberkami (patrz rys. 1) i charakteryzuje się tym, że posiada powierzchnię tę samą w każdym przekroju. Pręty z powyższej stali oznaczają się specjalną numeracją, tj. numer odpowiada średnicy pręta okrągłego o tej samej powierzchni przekroju, np. pręt ze stali żebrowanej o nr 20 odpowiada pod względem przekroju prętowi okrągłemu o średnicy 20. Zasadniczo walcuje się pręty o nr od 12 do 32 i od 36 do 90 dla cięższych konstrukcji. Na budowie PKiN zastosowano pręty do nr 55.

Użycie stali spiralnie żebrowanej dzięki jej niegładkiej powierzchni zapewnia uzyskanie dobrej przyczepności stali z betonem. Najlepsze wykorzystanie jej właściwości występuje przy zbrojeniu konstrukcji marki wyższej od 140.

Na budowie PKiN konstrukcje żelbetowe zbrojone spawanymi siatkami i szkieletami wykonuje się z betonu marki 170 i wyżej, a płyty prefabrykowane z betonu marki 250.

Jak wykazują obliczenia, przy zastosowaniu stali spiralnie żebrowanej uzyskuje się ok. 25% oszczędności na przekroju zbrojenia w porównaniu ze stalą okrągłą St-3. Jak już poprzednio zaznaczono, stal ta ze względu na swoją jednorodną strukturę i skład chemiczny jest dobrze spawalna i nadaje się tak do zgrzewania punktowego jak i spawania łukowego. Niedopuszczalne jest tylko gięcie stali po spawaniu.

Siatki

Siatki stosuje się do zbrojenia płyt żelbetonowych (stropowych, dachowych itp.). Siatki produkuje się w rulonach

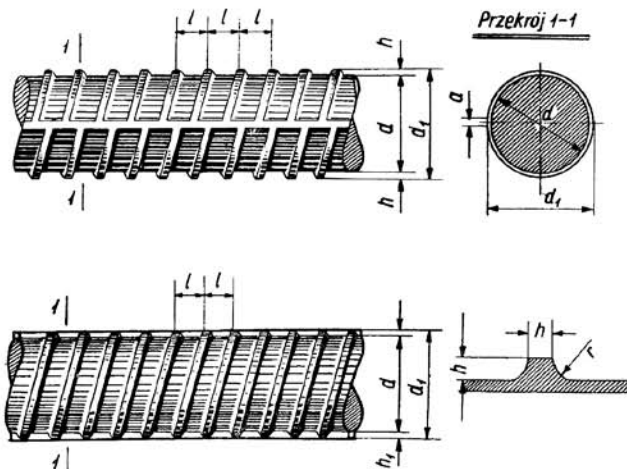
i płaskie. Siatki z rulonów wykonywane są z prętów o średnicy do 6 w wypadku pracującego zbrojenia podłużnego. Przy pracującym zbrojeniu poprzecznym pręty w siatkach w rulonach mogą mieć średnicę do 10.

Siatki płaskie wykonuje się z prętów o średnicy od 4 mm, o kierunku pracującego zbrojenia przeważnie podłużnym, rzadziej poprzecznym lub o jednakowych prętach w obu kierunkach.

Stosowanie siatek spawanych jako elementu zbrojeniowego do konstrukcji żelbetonowych musi spowodować jak największe ich znormalizowanie. Ujęcie typów siatek w odpowiednie tablice pozwala projektantowi operować numerem siatki przy wymiarowaniu płyt tak jak profilem prętów w zbrojeniu wiązanym na budowie.

Długość siatek jest zależna od rozpiętości przeseł płyt stropowych, a szerokość od wysięgu elektrod zgrzewarek, który wynosi najczęściej 500 mm. Przy tym wysięgu szerokość siatki osiąga ok. 1000 mm.

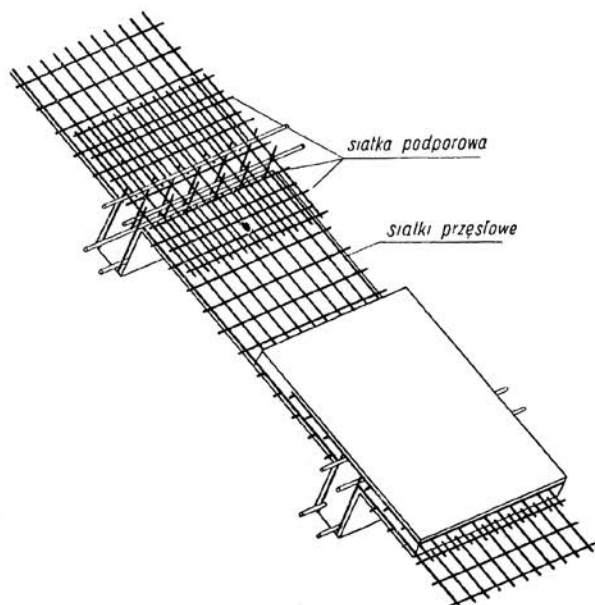
Układ siatek projektuje się w zależności od rodzaju konstrukcji. Płyty ciągłe w stropach żeberkowych zbroi się siatkami



Nr pręta	Wymiary w m/m							Obliczeniowa powierzchnia w cm^2	Waga 1 mb w kg
	d	d ₁	h i h ₁	l	a	b	r		
12	11	13,5	1,25	7	2	1,0	1,9	1,13	0,89
14	13	15,5	1,25	7	2	1,0	1,9	1,54	1,21
16	15	18	1,5	8	2	1,0	2,2	2,01	1,58
18	17	20	1,5	8	2	1,5	2,2	2,54	2,00
20	19	22	1,5	8	2	1,5	2,2	3,14	2,47
22	21	24	1,5	8	2	1,5	2,2	3,80	2,98
24	23	26	1,5	8	2	1,5	2,2	4,52	3,55
26	25	28	1,5	9	2,5	1,5	2,2	5,31	4,17
28	26,5	30,5	2,0	9	2,5	1,5	3,0	6,16	4,83
30	28,5	32,5	2,0	10	3	2,0	3,0	7,07	5,55

Rys. 1. Stal spiralnie żebrowana, walcowana na gorąco

¹⁾ por. art.: St. Janiszewicz — „Zbrojenie zblokowane konstrukcji żelbetonowych” Przegląd Budowlany nr 7 1953, str. 237.



Rys. 2. Zbrojenie płyt siatkami spawanymi

kami z rulonu (przy średnicy prętów pracujących mniejszej od $\phi 6$) lub siatkami płaskimi.

Siatki w przęsłach i na podporach układa się zgodnie z wykresem momentu zginającego. Wobec tego, że w wieloprzęsłowych płytach (liczonych z uwzględnieniem odkształceń plastycznych) można przyjąć momenty we wszystkich środkowych przęsłach równe momentom nad środkowymi

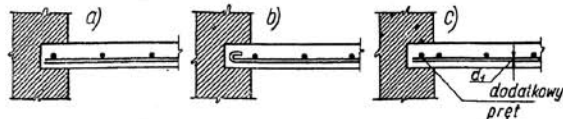
podporami $M = \frac{gl^2}{16}$ dla uproszczenia można ułożyć siatki

jednakowe wzdłuż całego stropu i nad podporami, a w przęsłach skrajnych i nad drugą od końca płyty podporą, gdzie moment jest większy $M = \frac{gl^2}{11}$ układa się siatki dodatkowe.

Siatki nad podporami układa się osiowo do podpory, długość tych siatek (w kierunku pracującego zbrojenia) powinna wynosić 0,50 rozpiętości przęsła w świetle (patrz rys. 2).

W razie konieczności łączenia siatek w kierunku zbrojenia pracującego wykonuje się złącza na nakładkę zgodnie z odpowiednimi warunkami technicznymi.

Siatka kończąca się na podporze (w miejscu swobodnego podparcia) musi mieć chociaż jeden poprzeczny pręt położony za krawędzią podpory (rys. 3a). Jeżeli ten warunek nie może być spełniony (np. przy rozcięciu typowych siatek), to należy na końcach prętów pracujących zagaić haki lub przyspawać dodatkowy pręt poprzeczny (rys. 3b, 3c).



Rys. 3. Zakotwienie spawanych siatek na podporze.

Objaśnienia: a) skrajny pręt rozdzielczy jest umieszczony poza krawędzią podpory, b) zagaię haki na końcach pracujących prętów, c) dodatkowy pręt przyspawany na końcach pracujących prętów.

W celu uzyskania oszczędności stali zbrojeniowej istnieje bardzo ciekawy sposób zbrojenia ciągłych płyt parami siatek stosowany także na budowie PKiN.

Zbrojenie płyt, tak w przęsłach jak i na podporze wykonuje się dwiema jednakowymi lub różnymi siatkami — zwanymi parami siatek. Siatki układa się w ten sposób, aby zbrojenie główne szło w jednym kierunku i było ułożone w jednej płaszczyźnie, co uzyskuje się przez przesunięcie pary siatek w kierunku prostokątnym do głównego. Pręty rozdzielcze jednej siatki muszą się znajdować pod spodem zbrojenia pracującego, a drugiej nad nim (patrz rys. 4).

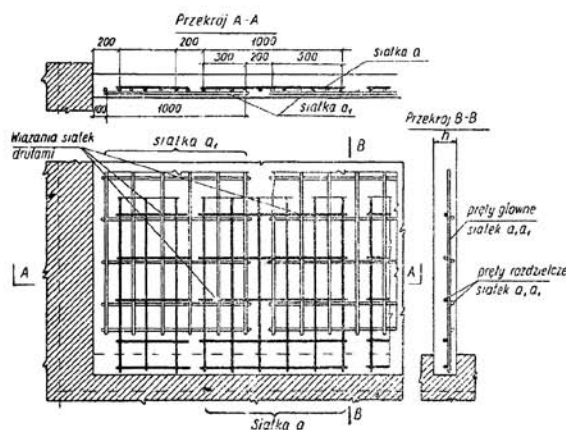
Przez odpowiednie wzajemne przesunięcie pary siatek uzyskuje się zmniejszenie przekrojów zbrojenia w miejscach mniejszych momentów. Wielkość wzajemnego przesunięcia każdej pary siatek w kierunku pracującego zbrojenia (tj. na długości siatek) zależy od wielkości przęsła płyty.

Długość siatek przęsłowych określa się wychodząc z założenia, aby części przęsła płyty przylegające do belek były zbrojone pojedynczą siatką na przestrzeni o szerokości równej ok. $\frac{1}{4} l_0$ (rozpiętości w świetle). Podpory płyty (pasy nad żebrami) zbroi się także parami siatek, tak aby każda siatka zachodziła na jedno przęsło na odległość nie mniejszą od $\frac{1}{4} l_0$ licząc od krawędzi podpory, a odcinek każdego przęsła z obu stron podpory uzbrojony dwiema siatkami, wynosił $\frac{1}{6} l_0$. Długość siatek podporowych (A) określa się wg wzoru $A = 0,42 l_0 + b$

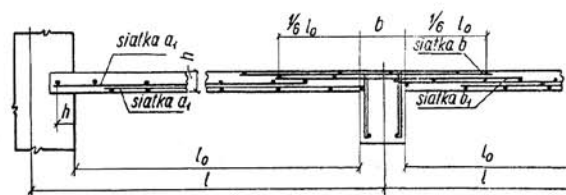
l = rozpiętość przęsła; w wypadku przęsł nierównych przyjmuje się większą.

b = szerokość zebra (patrz rys. 5).

Siatki układane parami należy w kilku miejscach związać ze sobą drutem (patrz rys. 4).



Rys. 4. Zbrojenie zblokowane płyty.



Rys. 5. Przekrój przęsła i podpory płyty (dla jasności rysunku pręty główne siatek dolnych i górnych są pokazane nie na jednym poziomie).

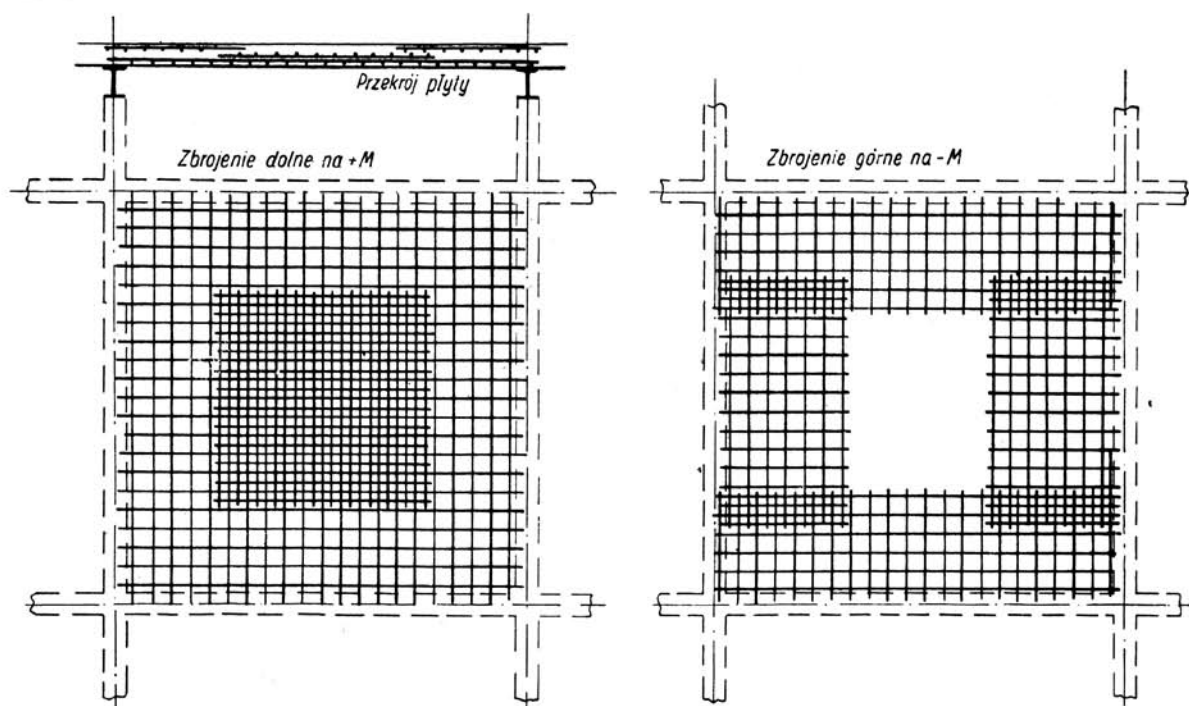
Płyty oparte swobodnie na obwodzie lub z utwierdzeniem należy zbroić siatkami o dwukierunkowym ułożeniu prętów pracujących (rys. 6) albo siatkami podwójnymi o podłużnych prętach pracujących, układając je na krzyż, wliczając do współpracy pręty rozdzielcze.

W zależności od sposobu podparcia i wynikającego stąd wykresu momentów zginającego układa się po ułożeniu jednej warstwy siatek na całym polu płyty, siatki dodatkowe. Np. w przęsłach stropów opartych na obwodzie układa się siatki dodatkowe w środku pola płyty (rys. 6) tak, aby w skrajnych pasach szerokości $\frac{1}{4} l$ przekrój zbrojenia na 1 mb płyty wynosił 50% przekroju zbrojenia idącego w tym samym kierunku w środkowej części przęsła.

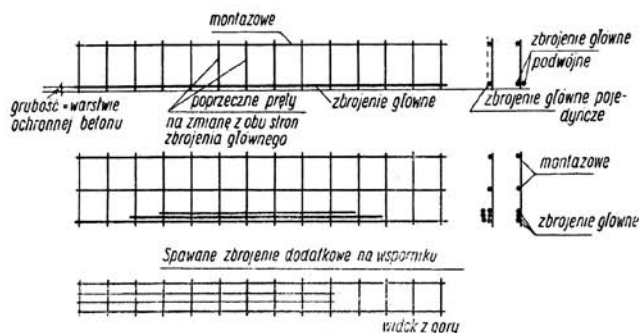
Szkielety płaskie

Szkielety spawane używa się jako zbrojenie do podciągów, żeber, wsporników, ław i stóp fundamentowych itp.

Szkielety składają się z podłużnych prostych prętów pracujących, podłużnych montażowych i poprzecznych, które odpowiadają strzemionom w belkach zbrojonych pojedynczymi prętami. Na rys. 7 pokazano najczęściej spotykane typy szkieletów.



Rys. 6. Przykład ułożenia zbrojenia z siatek spawanych w płycie opartej na obwodzie (siatki o zbrojeniu roboczym w dwóch kierunkach).



Rys. 7. Przykłady szkieletów spawanych.

W celu uzyskania przy betonowaniu warstwy ochronnej betonu, pręty poprzeczne wystają poza pręty podłużne na odległość równą grubości potrzebnej dla uzyskania otulenia.

Jest to bardzo wygodne w montażu zbrojenia, które opiera się na deskowaniu wystającymi końcami poprzecznych prętów, co zapewnia także dokładne ustawienie zbrojenia w poziomie. Zbrojenie belki składa się z jednego lub kilku szkieletów, zależnie od obliczeń.

W odróżnieniu od siatek, które układa się prostopadle do płaszczyzny działania momentów zginających, szkielety płaskie ustawia się w płaszczyźnie działania momentów. Wymiarowanie więc przekroju szkieletu spawanego odbywa się wg wykresu momentu zginającego, dzięki spawaniu można w miarę zwiększania się wielkości momentu zwiększać przekrój żelaza przez dodawanie potrzebnej ilości prętów w danym przekroju.

Pręty przypawuje się albo jeden na drugim w płaszczyźnie pionowej albo z dwóch stron poprzecznego pręta w płaszczyźnie poziomej (patrz rys. 7).

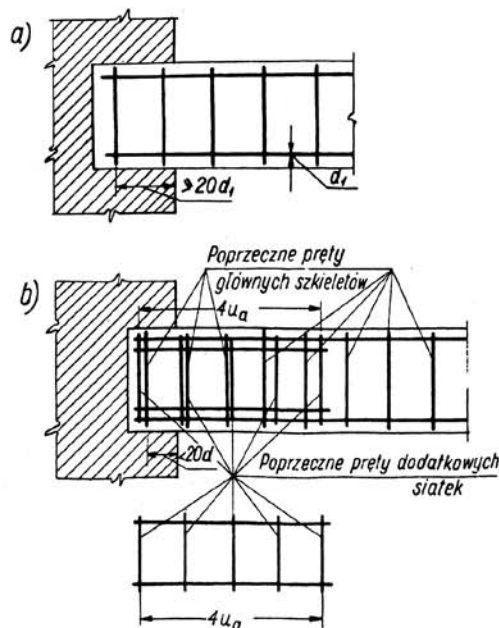
Przy wykonaniu zbrojenia belek z kilku szkieletów można także w zależności od wielkości momentu zginającego w danym przekroju zmniejszać lub zwiększać przekrój żelaza przez zmniejszanie lub zwiększanie ilości całych szkieletów w danym przekroju.

Przekrój podłużnego dużego zbrojenia doprowadzonego do strefy ściskanej (np. zbrojenie dolne doprowadzone do podpory) nie może być mniejszy niż 50% przekroju zbrojenia rozciąganego w miejscu największego momentu zginającego.

Pręty poprzeczne w płaskich szkieletach spawanych spełniają rolę podobną do strzemion — pracują na siły poprzeczne.

Dla przejścia naprężeń ścinających nie stosuje się w zasadzie prętów odgiętych, a w celu uzyskania potrzebnego przekroju stali zagęszcza się pręty poprzeczne, zwiększa się ich przekrój, względnie dla uzyskania większej ilości prętów poprzecznych, ustawia się dodatkowe szkielety.

Przy swobodnym podparciu belki zbrojonej spawanymi szkieletami, w przypadku gdy siła poprzeczna jest większa



Rys. 8.

od dopuszczalnej, skrajny poprzeczny pręt w spawanych szkieletach powinien być umieszczony poza krawędzią podpory na odległość równą 20 średnic podłużnego pracującego zbrojenia (rys. 8). W przypadku, kiedy warunek ten nie może być spełniony, należy na podporze ustawić dodatkowe szkielety (rys. 8b).

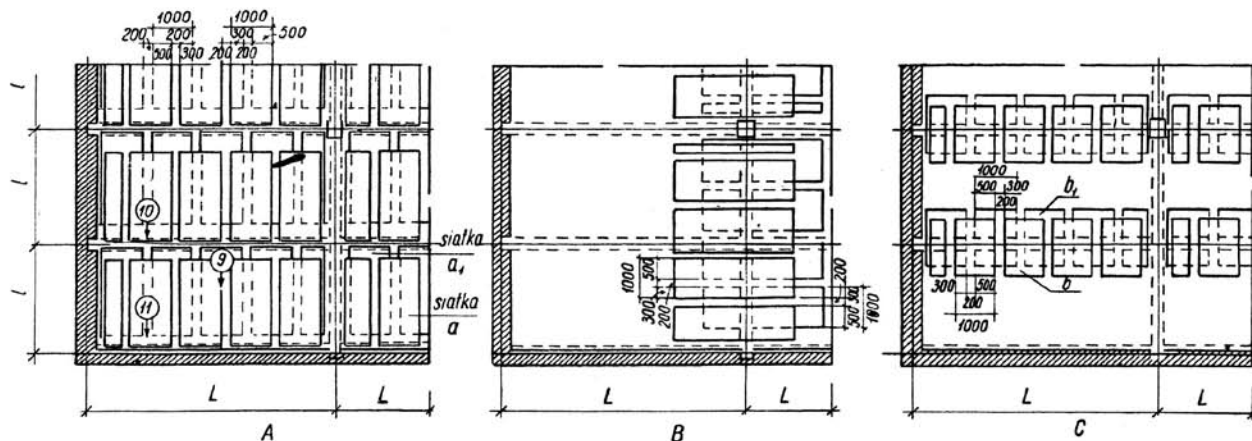
Pręty poprzeczne przyspawane wzdłuż każdego pręta zabezpieczają dostateczne zakotwienie pręta pracującego w betonie i tym samym pozwalają na zlikwidowanie haków na końcach prętów i wszystkich kotwiących odgięć.

Projektowanie płyt stropowych i belek żelbetonowych na PKiN odbywało się na zasadach wyżej opisanych.

Uwzględniając miejscowe warunki budowy i specjalny charakter konstrukcji na PKiN zastosowano oprócz typów znormalizowanych wg instrukcji, specjalne typy siatek płaskich i szkieletów dla danej budowy. Wymiary ich są uwarunkowane konstrukcją i sposobem produkcji elementów (rodzaje maszyn do zgrzewania). Ustalono więc zakładową normalizację siatek i szkieletów. Siatki i szkielety wykonywane są z prętów ze stali okrągłej marki St-3 i żebrowanej St-5.

Większość konstrukcji stropowych i dachowych na budowie PKiN została zaprojektowana w formie prefabrykowanych płyt wielkich i małych.

Prefabrykowane wielkie płyty stropowe pracują jako płyty oparte na obwodzie. Zbrojone są one siatkami z prętów ze stali St-3 o średnicach od 6 do 12. Siatki układano w warstwach na krzyż (w dolnej części płyty) i pojedynczo w górnej części na obwodzie płyty na momenty ujemne powstałe po utwierdzeniu płyt prefabrykowanych po ułożeniu ich na konstrukcji.



Rys. 9. Układ zbrojenia stropu żebrowo-płytowego. Objaśnienia: A) układ dolnych siatek płyty, B) siatki nad podciągami, C) układ siatek górnych płyty nad zebrami.

Małe płyty panwiowo-żebrowe posiadają zbrojenie zeber i zbrojenie płytki zespawane w jedną siatkę, którą się wygina bezpośrednio przed ułożeniem jej w formę stalowej do zabetonowania.

Nad wielkimi i małymi płytami prefabrykowanymi na budowie PKiN wykonywano warstwę betonu marki 170 ze zbrojeniem z siatek w pasach nad belkami w celu zamontowania i usztywnienia konstrukcji stropu.

Zbrojenie szkieletów płaskich belek żelbetonowych i płyt monolitycznych stropów przeponowych na części wysokościowej i wszystkich płyt o dużym obciążeniu zaprojektowano z siatek o prętach pracujących ze stali spiralnie żebrowanej St-5.

Zbrojenie belek i podciągów konstrukcji żelbetonowych na PKiN zaprojektowano w formie szkieletów płaskich. Zależnie od konstrukcji, obciążenia i rozpiętości zastosowano następujące sposoby zbrojenia belek szkieletami płaskimi:

1) zbrojenie belki stanowi jeden szkielet płaski posiadający kilka prętów pracujących przyspawanych do siebie w płaszczyźnie pionowej albo poziomej.

2) zbrojenie składa się z kilku szkieletów o pojedynczych prętach pracujących.

Na zakończenie warto jeszcze pokrótce zatrzymać się na sposobie sporządzania dokumentacji technicznej w fazie rysunków roboczych dla konstrukcji żelbetonowych ze zbrojeniem spawanym.

Znormalizowane zakładowo na budowie PKiN siatki i szkielety spawane oznacza się specjalnymi numerami nazwanymi markami siatek i szkieletów.

Wykaz siatek lub szkieletów danej konstrukcji sporządza się na specjalnym arkuszu z podaniem dokładnego rysunku i specyfikacją żelaza na każdą siatkę i ew. szkielet (siatki i szkielety są zgrupowane na oddzielnych rysunkach).

Na schematycznych rysunkach stropów lub części stropów wykreślony jest układ siatek: oddzielnie układ siatek górnych i oddzielnie układ dolnych. Siatki są przedstawione w formie prostokątów, na których pokazana jest marka siatki i strzałką określony kierunek pracującego zbrojenia. Rozstaw siatek i wzajemne ich przesunięcia są także podane na schemacie (patrz rys. 9).

Zebra, belki i podciąg są ponumerowane na schemacie stropu (oznacza się je symbolami — np. B₁₀), a na oddzielnym arkuszu są wykreślone przekroje poprzeczne i podłużne belek ze zbrojeniem z odpowiednich szkieletów płaskich o numeracji zgodnej z ich wykazem.

Należy zaznaczyć, że do każdego stropu, oprócz ww. rysunków roboczych i schematów konstrukcyjnych i planu deskowania jest sporządzony tzw. arkusz zbiorczy, na którym znajduje się wykaz wszystkich rysunków potrzebnych do wykonania danej konstrukcji, uwagi ogólne dotyczące wszystkich rysunków i dane wytrzymałościowe.

Taki sposób sporządzania dokumentacji technicznej daje bardzo przejrzysty obraz konstrukcji i jest łatwy do odczytania przez każdego robotnika. Arkusz z rysunkami zbrojenia (wykaz siatek i szkieletów) idzie tylko do zakładu produkcyjnego a na samej budowie robotnik operuje wyłącznie markami siatek i szkieletów wg podanego schematu.

Intensywna i stała propaganda książki i prasy technicznej —

to najważniejsze zadanie biblioteki zakładowej