

626.422:043

De.

MGR INŻ. JAN ZIELIŃSKI

Analiza pracy dźwigarów głównych zasuw płaskich
w świetle teorii i badań w naturze.

PRACA DOKTORSKA

PROMOTOR:

PROF. DR INŻ. ZYGMUNT BORETTI

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

1965

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej mgr inż. Jana Zielińskiego
ps. "Analiza pracy dźwigarów głównych zasuw płaskich
w świetle teorii i badań w naturze".

W s t e p

Recenzję wykonano na zlecenie Rektoratu
Politechniki Warszawskiej z dnia 20.10.1965

Recenzja pracy

Przedstawiona praca obejmuje 94 strony maszynopisu, w tym 29 rysunków i 17 tablic. Wykonana została na podstawie rozważań teoretycznych oraz badań terenowych na konkretnym zamknięciu.

Celem pracy było wykazanie błędnych założeń przyjmowanych w dotychczasowej praktyce projektowania dźwigarów głównych zamknięć płaskich. Wymieniony cel pracy został osiągnięty i Autor udowodnił na drodze teoretycznej oraz przeprowadzonych pomiarach terenowych słuszność swojego twierdzenia.

Problem ten jest również poruszony w PN-64/
/B-03203 i są odpowiednie zalecenia, brak jednak było



szczególnej analizie oraz podania dokładnych metod projektowania, które w szczególny sposób określałyby metodę obliczeń.

Tak więc oprócz wykazania się w pracy umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej Autor w swoim opracowaniu włączył pozytywny czynnik przydatności pracy dla potrzeb gospodarki narodowej w postaci wykazania niesłusznych danych wyjściowych przyjmowanych przy pracach projektowych tego typu konstrukcji o niewątpliwie wpłynie na jakościowo lepsze projektowanie obiektów. W danym przypadku zostało udowodnione, że pomijanie sztywności węzłów kraty dźwigara doprowadza do nieuwzględniania naprężeń drugorzędnych, które dochodzą do około 30 % naprężeń dopuszczalnych. Jednocześnie przedstawiona została metoda obliczeń pozwalająca na stosunkowo dokładne określenie naprężeń panujących w prętach. Używano tu zwrotu "stosunkowo", gdyż jak wiemy konstrukcja zamknięcia pracuje jako układ przestrzenny zaś w pracy przedstawiona metoda dotyczy układu płaskiego.

Jak dotychczas nie zostało jednak w sposób praktyczny wykazane, że przyjmowanie układów płaskich doprowadza do niewłaściwego wymiarowania konstrukcji.

Stosowanie obliczeń konstrukcji jako układu przestrzennego jest bardzo skomplikowane i nie znajduje zastosowania wobec niewielkich różnic z rozpatrywaniem

jej jako szeregu układów płaskich. Tak więc założenia autora pracy są właściwe.

Pracę można podzielić na dwie zasadnicze części:

- a- uzasadnienie przyjęcia do rozważań dźwigara głównego przekątniowego
- b- metoda wymiarowania konstrukcji i jej sprawdzenia na badaniach terenowych.

Do części "a" nasuwają się następujące uwagi:

np. 2.2- pominięto siły od klapy

np. 2.8- nie zaznaczono konstrukcję słupa oraz p. "S"

np. 2.9- zaznaczone na rysunku siły N nie są sobie

i np. 2.10- równe, jak również brak omówienia przyjętych założeń do obliczeniowego układu sił

np. 2.14- nie zaznaczono węzła "S"

w tabelicy 2.10 nie podano skąd otrzymano ciężary całkowite dźwigara bezprzekątniowego i blachownicowego.

Przyjęta argumentacja uzasadniająca celowość stosowania dźwigara przekątniowego nie jest wystarczającą w świetle przyjętych uprzednio warunków i omówień podanych w tekście. Brak jest analizy ekonomicznej konstrukcji, gdyż jak wykazały obliczenia ciężary poszczególnych dźwigarów różnią się jedynie o kilka procent na korzyść dźwigaru przekątniowego. Pominięto koszty robocizny i konserwacji konstrukcji.

Do części "b" nie zgłaszam zastrzeżeń merytorycznych, wydaje się jednak, że wskazanym byłoby przeprowadzenie obliczeń innymi metodami dla uzyskania porównania wyników, jak również poszczególnych prędkości różnych metod.

Rozwój metod liczenia pozwala w danym przypadku korzystać z maszyn matematycznych, co zresztą uczynił i sam Autor, choć nie znalazło to wyraźnego uwypuklenia w pracy. Nie wszędzie jednak będą do dyspozycji maszyny matematyczne i w tym przypadku inne metody będą niezbędne.

Analizując tablicę 3.8 widzimy, że większe różnice występują w wierszach 1, 2 i 3. Przyczyna tego zjawiska została ujęta w sposób zbyt skondensowany.

Odnosnie wniosków, to ad. p. 1 brak ograniczenia założeniami stosowanymi w pracy, lecz nie wymienionymi w sposób wyraźny.

Ad. p. 3 - w wymienionym punkcie należałoby powołać się na kategorie obiektów dla których należy stosować przedstawioną metodę. Norma dotycząca kategorii i klas obiektów jest w opracowaniu i wg. niej należy stosować ograniczenia. Użyty zwrot "poważne budowle wodne" nie określa zakresu stosowania metody.

Odnosnie zwrotu "małych spiętrzeń i rozpiętości zasuw" proponuję zastąpić określoną powierzchnię przeżywaną zasuwą, lub ograniczeniami wysokości

piętrzenia i rozpiętości podanymi w określonych wielkościach. W wymienionym punkcie Autor użył także zwrotu "przekroje prętów są mało sztywne" gdy przedtem omawiał sztywność węzłów. Wydaje się wnioski powinny powtarzać zwroty stosowane w pracy.

We wnioskach pominięto zagadnienie możliwości programowania obliczeń konstrukcji na maszyny cyfrowe, chociaż w tekście zwrócono na to uwagę. Proponuję aby wnioski zostały tym punktem uzupełnione.

Drobne uwagi dotyczące redakcji pracy, układu oraz stosowanych określeń zostały przekazane Autorowi. Jednocześnie proponuję, aby tytuł pracy został przy publikacji zmieniony na "Analizę pracy przekątniowych dźwigarów głównych zasuw płaskich w świetle teorii i badań w naturze". W pracy omawiany jest w zasadzie tylko ten typ dźwigaru. Pozostałe typy dźwigarów potraktowane są marginesowo.

Na podstawie przedstawionej powyżej opinii pracy doktorskiej mgr.inż. Jana Zielińskiego pt.

"Analiza pracy dźwigarów głównych zasuw płaskich w świetle teorii i badań w naturze" stwierdzam, że:

1. Wykonana na podstawie przeprowadzonych rozważań teoretycznych i terenowych praca doktorska pozwoliła wykazać błędy w stosowanych obecnie metodach obliczeń dźwigarów głównych zasuw płaskich.

2. W pracy Autor wykazał, że posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

3. Na podstawie przytoczonych wniosków należy uznać przedłożoną pracę za odpowiadającą wymaganiom Rozporządzenia Ministra Szkolnictwa Wyższego z dnia 17.06.1959 r. w sprawie przeprowadzania przewodów doktorskich w szkołach wyższych.

Proponuję aby dopuścić Kandydata do publicznej dyskusji nad przedłożoną rozprawą.



Dr inż. Zygmunt Mikucki
profesor nadzw. nauk technicznych
Kierownik Katedry Gruntoznawstwa
i Budownictwa Ziarnego SGGW

Warszawa, dnia 24 grudnia 1965 r.

R e c e n z j a

pracy doktorskiej mgr inż. Jana Zielińskiego
p.t. "Analiza pracy dźwigarów głównych zasuw
płaskich w świetle teorii i badań w naturze"
opracowana na zlecenie Rektoratu Politechniki
Warszawskiej z dnia 27.X.1965 r.

Przedłożona praca zawierająca 95 stron maszynopisu oraz dużą ilość rysunków i tablic, jak też 16 fotografii zajmuje się problemem ustalania zasad doboru schematów konstrukcyjnych i rozmiarów zamknięć zasuwowych, aby możliwie najmniejszym kosztem osiągnąć takie same efekty techniczne.

Jako metodę dla uzyskania powyższego zadania Autor wybrał analizę pracy dźwigarów głównych zasuw płaskich w świetle teorii i badań w naturze, przeprowadzonych dla jednego wykonanego obiektu.

Na wstępie Autor przedstawia szereg zalet zasuw płaskich, jak łatwy przegląd wszystkich części i możliwość remontu bez specjalnych przygotowań, prostota wykonania montażu i tp., wspominając o wadach jak znaczny ciężar konstrukcji i jej mechanizmów wyciągowych, duże wymiary filarów itp.

W następnym rozdziale Autor przeprowadza analizę pracy dźwigara głównego zasuw płaskiej z klapą, słusznie zakładając, że jest to typ zamknięcia ruchomego, najczęściej stosowanego w polskich warunkach budowy stopni na rzekach nizinnych. W swych rozważaniach Doktorant głównie zajął się analizą pracy podstawowego elementu nośnego tj. dźwigara głównego.

W rozdziale drugim Autor przedstawił trzy różne typy dźwigarów głównych, stosowanych w praktyce jako dźwigary nośne zasuw płaskiej, a mianowicie:

- 1/ dźwigary przekątniowe /kratowe/
- 2/ dźwigary bezprzekątniowe /ramowe/
- 3/ dźwigary blachownicowe

Dźwigary główne są elementami konstrukcyjnymi, wpływającymi w sposób najbardziej istotny na ciężar zasuw płaskiej. Dlatego Autor przyjął pozostałe elementy jak ścianę piętrzącą, kraty stężące, jako niezmiennie, niezależnie od zastosowanego typu dźwigara głównego. Z przeprowadzonych przez Autora obliczeń wynika, że najłżejszą, a więc z braku stali najbardziej

R.638

uzasadnioną ekonomicznie w polskich warunkach jest zasuwa płaska o dźwigarach głównych przekątniowych /kratowych/.

Przy czym można zauważyć sprzeczność w wywodach Autora, który na stronie 4 wiersz 1 - 3 od dołu podaje:

"W rzeczywistości dźwigary kratowe w zasuwach płaskich są w węzłach tak sztywne, że przyjmowanie do obliczenia schematu kraty przegubowej staje się zupełnie nierealne", a na stronie 12:

"Kratownicę, będącą dźwigarem głównym obliczono jako kratownicę o węzłach przegubowych, posługując się schematem statycznym pokazanym na rys. 2.3.". Wydaje się, że czytelnikowi pracy należałoby wyjaśnić, pozornie szokujące przyjęcie autora, co zresztą częściowo zostaje dokonane w dalszej części pracy. W przyjętych schematach obliczeniowych Autor nie uwzględnił wpływu falowania. Jak wynika z badań przeprowadzonych na zbiorniku w Goczałkowicach wysokość fal może sięgać 2 m, a wówczas oczywiście należałoby wziąć pod uwagę wpływ falowania.

W rozdziale trzecim Autor zajmuje się statyką dźwigara głównego przekątniowego, wyjaśniając, że przeprowadzone obliczenia dźwigarów głównych przekątniowych, opierające się na schemacie kraty przegubowej nie są ścisłe, a sztywność węzłów jest tylko niekiedy uwzględniana przy zastosowaniu przybliżonych wzorów do obliczania momentów węzłowych. W rozdziale trzecim Autor podaje własny sposób obliczania dźwigara kratowego /przekątniowego/ zasuwy płaskiej, jako kraty o węzłach sztywnych, sprawdzając wyniki pomiarami odkształceń oraz pomiarami naprężeń w naturze. Skomplikowany i pracochłonny w rozwiązaniu układ równań otrzymany przy zastosowaniu sposobu przemieszczeń kątowych Autor rozwiązał przy pomocy maszyny matematycznej.

Przy porównaniu obliczeń teoretycznych oraz wyników pomiarów geodezyjnych odkształceń dźwigara głównego zasuwy w naturze oraz wyników pomiarów tensometrycznych naprężeń w prętach przedziału środkowego istniejącej zasuwy płaskiej Autor dochodzi do wniosku, że dotychczasowy sposób obliczania dźwigarów głównych przekątniowych nie uwzględniający sztywności połączeń prętów w węzłach może mieć jedynie zastosowanie do elementów o niewielkim piętrzeniu i rozpiętości, gdzie przekroje prętów są niewielkie i przyjęcie schematu kraty przegubowej mieści się w granicach szacowanego błędu 8 - 10% wzrostu naprężeń z tytułu rzeczywistego przeszywnienia w węzłach. Ponieważ tzw. naprężenia drugorzędne w niektórych przypadkach przekraczają 400 KG/cm^2 , więc nie mogą być nie uwzględniane w obliczeniach, podczas gdy PN-64/B-3203 zakłada wielkość pominiętych naprężeń drugorzędnych w pasach dźwigarów kratowych zasuwy płaskiej do ok. 150 KG/cm^2 .

Pomiary tensometryczne wykazały również znaczne różnice pomiędzy wartościami pomierzonymi i obliczonymi dla schematu kraty przegubowej, gdzie są one większe dla prętów pasa załanego o ok. 230 KG/cm^2 , a dla kraty o schemacie kraty sztywnowęzłowej - mniejsze o ok. 120 KG/cm^2 .

Podobne wyniki Autor otrzymał i dla pozostałych prętów z wyjątkiem pasa prostego, gdzie wyniki pomiarów odbiegają znacznie od wartości obliczonych przy obu założeniach.

Autor kończy pracę sześcioma wnioskami istotnymi dla praktyki.

Wydaje się, że powinny być jeszcze one sprawdzone co najmniej na jednej zasuwie podobnego typu, oraz na zasuwie dwudzielnej np. w Czchowie.

W pracy zauważono następujące usterki:

- 1/ we wstępie należy szerzej wspomnieć o głównych tezach pracy, zastosowanych metodach obliczeń i badań przeprowadzonych w naturze,
 - 2/ przed oddaniem pracy do druku należy lepiej ją wyposażyć w rysunki np. str. 21 - 22 - konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze bezprzekątniowym, prócz podanego opisu, pożądany ^o ^o ^o bardzo szczegółowy rysunek str. 26 - konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze głównym blachownicowym - uwaga j.w.
 - 3/ brak uzasadnienia rozstawu dźwigarów głównych
 - 4/ str. 74 dokładność pomiaru - 1 mm zbyt mała
 - 5/ w uwagach o dalszych badaniach należałoby wspomnieć o konieczności sprawdzenia obliczeń przy zastosowaniu nowoczesnych metod używanych w innych krajach np. w Związku Radzieckim przez Pietraszewicza oraz Pastuszichina
 - 6/ spis literatury należy ułożyć alfabetycznie i usunąć błędy maszynopisu.
- Wszystkie te uwagi krytyczne bynajmniej nie umniejszają wartości pracy. Całość pracy oceniam pozytywnie, gdyż:

- 1/ za szczególne osiągnięcie Autora uważam przeprowadzenie żmudnych obliczeń nową metodą,
 - 2/ Autor sprawdził obliczenia przeprowadzając pracochłonne i trudne badania terenowe,
 - 3/ praca przedstawia jeden z najtrudniejszych i istotnych dla praktyki problemów inżynierskich,
 - 4/ przeprowadzone obliczenia, badania, jak i wnikliwa interpretacja wyników dowodzą umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych,
 - 5/ spełnia moim zdaniem wymagania stawiane pracą doktorskim.
- Wobec powyższego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Jana Zielińskiego do publicznej rozprawy doktorskiej.

Z. Mikucki

Udostępniając niniejszą pracę doktorską Biblioteka Główna Politechniki Warszawskiej uprzejmie przypomina, że bez zgody autora nie wolno dokonywać odbitek, odpisów, streszczeń, wyciągów itp. Ponadto praca może być udostępniona tylko w Czytelni.

Dyrekcja
Biblioteki Główniej
Politechniki Warszawskiej

ONTG. n. 200 nr 206/75

TREŚĆ

1. Wstęp
2. Wybór typu dźwigara głównego zasuwy płaskiej z punktu widzenia zużycia materiału, na przykładzie zrealizowanego obiektu.
 - 2.1. Konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze głównym przekątniowym.
 - 2.2. Konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze głównym bezprzekątniowym.
 - 2.3. Konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze głównym blachownicowym.
 - 2.4. Porównanie rozwiązań i wnioski.
3. Statyka dźwigara głównego przekątniowego.
 - 3.1. Uwagi wprowadzające
 - 3.2. Ścisłe sposoby obliczania dźwigarów kratowych z uwzględnieniem sztywności węzłów.
 - 3.3. Obliczenie dźwigara głównego badanej zasuwy z uwzględnieniem sztywności węzłów.
 - 3.4. Geodezyjne pomiary odkształceń dźwigara głównego w naturze.
 - 3.5. Tensometryczne pomiary naprężeń w prętach dźwigara głównego w naturze.
 - 3.6. Porównanie wyników pomiarów w naturze z wynikami obliczeń teoretycznych.
4. Uwagi i wnioski końcowe. Propozycje do projektowania.

1. Wstęp

Zamknięcia zasuwowe należą w praktyce budownictwa wodnego do najbardziej rozpowszechnionych wśród stosowanych zamknięć ruchomych. Zastosowanie zasuw płaskich jest różnorakie, począwszy od najprostszych urządzeń wodnych do skomplikowanych zamknięć przelewów, zapór i jazów, śluz, siłowni wodnych, spustów głębinowych.

Zasuwy płaskie, jako zamknięcia ruchome, spełniają w konstrukcji budowli wodnej istotną rolę, jako elementy regulujące przepływ przez budowlę spiętrzającą, zabezpieczające i utrzymujące właściwe, założone spiętrzenie wody. Największe pola przegrodzone zasuwami płaskimi dochodzą do 400 m^2 , wysokość piętrzenia przez nie wody do 18,0 m /zasuwy wielodzielne/, a rozpiętość do 40,0 m. Podano tu liczby obrazujące zakres stosowania zamknięć zasuwowych w budownictwie hydrotechnicznym.

Poza wieloma zaletami, jak łatwe podnoszenie i opuszczanie zamknięcia, łatwy przegląd wszystkich części i możliwość remontu bez specjalnych przygotowań, osiąganie znacznych rozpiętości i wysokości piętrzenia, prosta, łatwa w montażu konstrukcja, zasuw płaskie posiadają istotne wady rzutujące na efekty ekonomiczne stosowania tego typu rozwiązania zamknięć ruchomych. Do najważniejszych wad tych konstrukcji należy duży ciężar własny konstrukcji i jej mechanizmów wyciągowych oraz znaczne wymiary filarów / szerokość i wysokość/, będące funkcją wymiarów samej zasuw płaskiej.

Z tych względów, decydujących o ekonomiczności zamknięć zasuwowych, istotną sprawą jest dobranie takich ich rozmiarów, aby możliwie najmniej -

szym kosztem osiągnąć takie same efekty techniczne.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę pracy dźwigara głównego zasuwę płaskiej z klapą, jako zamknięcia ruchomego, stosowanego najczęściej w warunkach polskich przy budowie stopni wodnych na rzekach nizinnych. Celem tej analizy było ustalenie takich sposobów projektowania dźwigarów głównych zasuwę, aby osiągnąć można było pełne bezpieczeństwo konstrukcji przy stosowaniu ekonomicznie najbardziej uzasadnionych rozwiązań. Analizę przeprowadzono w oparciu o zasuwę płaską wbudowaną w obiekcie zrealizowanym na jednej z nizinnych rzek polskich. Obiekt ten wybrano z tych względów, że jest to najnowsza oddana do eksploatacji w ostatnich latach przegroda, w której zamknięcie ruchome / zasuwę płaską z klapą / zaprojektowano i wykonano nie tylko w oparciu o zdobycze techniczne, ale i na podstawie doświadczeń zebranych na już eksploatowanych obiektach gospodarki wodnej w kraju.

W rozważaniach zajęto się głównie pracą podstawowego elementu nośnego zasuwę płaskiej, t.j. dźwigara głównego dlatego, że decyduje on o bezpieczeństwie całej konstrukcji. Rozważania statyczne, związane z klapą zasuwę płaskiej pominięto. Jest to element konstrukcyjny nie wpływający w sposób zasadniczy na pracę dźwigara głównego zasuwę, a jako element statyczny może być całkowicie wyodrębniony, t.zn. zaprojektowany i skonstruowany niezależnie.

W rozdziale drugim pracy zajęto się porównaniem, ze względu na zużycie ilości materiału, rozwiązań zasuwę płaskiej z dźwigarem głów-

nym, przekątniowym, bezprzekątniowym i blachownicowym.

Jak wynika z obliczenia tego typu dźwigarów i innych elementów zasuwy /blacha opierająca, ruszt piętrowy/ najbliższym, a zatem w warunkach polskich, ze względu na niedobór stali, najbardziej uzasadnionym ekonomicznie jest zasuwa płaska z dźwigarami głównymi kratowymi /przekątniowymi/ pomimo, że koszt wykonania i montażu tego typu dźwigara jest wyższy od kosztu wykonania i montażu innych typów.

Najczęściej stosowanym sposobem obliczania zasuw płaskich jest jej rozkład na elementy płaskie / t.zw. tarczownice/ przenoszące obciążenie jedynie w swojej płaszczyźnie; stosowany jest również sposób uwzględniający w przybliżeniu t.zw. przestrzenną pracę konstrukcji.

Te dwa sposoby obliczeń podaje polska norma PN-64/B-03203 "Konstrukcje stalowe w budownictwie wodnym śródlądowym". PN-64/B-03203 zaleca również w określonych warunkach uwzględnianie sztywności połączeń w węzłach pasów prostych i pasów łamanych dźwigarów kratowych.

Również w literaturze technicznej / np. [18] / spotykane są wzory na obliczanie momentów węzłowych w pasach kratownic płaskich, jednakże wzory te nie nadają się - w odróżnieniu do wzorów podanych w normie - do obliczania momentów w konstrukcjach stalowych w budownictwie wodnym, gdyż wyznaczają je z uwzględnieniem ich plastycznego wyrownania.

W rzeczywistości dźwigary kratowe w zasuwach płaskich są w węzłach tak sztywne, że przyjmowanie do obliczenia schematu kraty przegubowej staje się zupełnie nierealne.

Różnice między wartościami naprężeń wyznaczonych z jednej strony w oparciu o schemat kraty przegubowej a z drugiej o schemat kraty sztywno-węzłowej nazywane są w literaturze "naprężeniami drugorzędnymi" i jako takie są przy projektowaniu dźwigarów kratowych / traktowanych przy obliczaniu jako przegubowe/ zupełnie pomijane. Praktyka taka być może słuszna w budownictwie lądowym, jest natomiast nie do przyjęcia przy obliczaniu dźwigarów głównych kratowych zamknięć ruchomych w budownictwie hydrotechnicznym. W pasach dźwigarów kratowych te drugorzędne naprężenia przekraczają niekiedy 200 KG/cm^2 , a więc pomijanie ich przy konstruowaniu elementów może prowadzić do niebezpieczeństwa.

Zwraca na to również uwagę PN-64/B-03203 podając warunki ograniczające wielkość pominiętego naprężenia drugorzędnego do około 150 KG/cm^2 . Norma również zwraca uwagę, że o ile warunki podane w niej nie są spełnione połączenie prętów pasów w węzłach należy uważać za sztywne i uwzględniać występujące w prętach pasów naprężenia drugorzędne stosując podane tam wzory.

Stępki i krzyżulce kratownicy mają mniejsze przekroje, a zatem i naprężenia wynikające ze sztywności węzłów kraty są tu mniejsze.

Jak wynika z tych rozważań, przyjęcie prawidłowego schematu statycznego dźwigara głównego kratowego jest istotnym elementem przy obliczaniu i konstruowaniu zasuw płaskiej, wpływającym bezpośrednio na bezpieczeństwo budowli.

W rozdziale trzecim pracy podano własny sposób obliczania dźwigara głównego kratowego /przekątniowego/ zasuw płaskiej, jako kraty o węzłach sztywnych. Podano tam również wyniki pomiarów tensometrycznych i pomiarów odkształceń dźwigara głównego istniejącej zasuw płaskiej.

W rozdziale czwartym pracy podano wynikające z rozważań wnioski i propozycje do projektowania dźwigarów głównych zasuw płaskich.

2. Wybór typu dźwigara głównego zasuw płaskiej, z punktu widzenia zużycia materiału, na przykładzie zrealizowanego obiektu.

* 2.1. Konstrukcja zasuw płaskiej o dźwigarze głównym przekątniowym.

Zamknięcia jazu na rzece nizinnej oddano do eksploatacji w 1963 roku. Zaprojektowano i wykonano je jako jednakowe elementy ruchome jazu, w postaci zasuw płaskich z klapą.

Zasadnicze parametry jednej zasuw płaskiej są następujące:

- światło zamknięcia	20,00 m
- rozpiętość teoretyczna zasuw	21,00 m
- wysokość piętrzenia	8,00 m
- warstwa wody przepuszczana przez klapę	1,00 m

Konstrukcję wykonano ze stali St 37S o $k = 1200 \text{ kg/cm}^2$, za wyjątkiem blach sprężynujących uszczelnień bocznych, które wykonano ze stali manganowo-krzemowej - znak 35SG zgodnie z PN/H-84030.

Konstrukcję zasuw można podzielić na następujące części:

- ściana piętrząca
- dwa dźwigary główne
- siedem pionowych krat poprzecznych
- tylna krata pionowa
- węzeł podporowy
- podwieszenie zasuw i wózków
- uszczelnienia
- klapa.

Dźwigary główne są oba jednakowe, kratowe o pasach nierównoległych. Pasy wykonano jako skrzynkowe; słupki wykonano z kątowników, a krzyzulce z ceowników. Dźwigar dolny umieszczony jest 1,161 m, a górny 4,161 m ponad progiem. Wysokość dźwigara w środku wynosi 3,50 m. Dźwigar podzielony jest na 8 przedziałów z tym, że przedziały skrajne wynoszą po 1,50 m, natomiast pozostałe po 3,000 m. Pas prosty jest dodatkowo zginany od bezpośredniego parcia wody, a do przekroju jego wliczono część blachy opierającej zgodnie z zasadami przyjętymi przy projektowaniu. Dźwigar główny dzieli się na dwie części skrajne spawane i część środkową nitowaną podczas montażu z poszczególnych elementów. Styki pasów dźwigarów głównych nitowano podczas montażu. Połączenie dźwigarów głównych z blachą opierającą spawano podczas montażu.

Tylna krata pionowa składa się z pasów, będących jednocześnie pasami załamanyymi /odpowietrznymi/ dźwigarów głównych oraz ze słupków i krzyzulców. Blachy węzłowe są przyspawane czółowo do pasów. Słupki i krzyzulce wykonano z kątowników.

Przez każdy węzeł dźwigara głównego przechodzi krata poprzeczna. W skład pionowych krat poprzecznych wchodzi słupki dźwigarów głównych i kraty tylnej oraz słupy pionowe rusztu. Pręty krat poprzecznych wykonano z kątowników, styki nitowano. Kratę poprzeczną nad podporą związano z przeponą węzła podporowego.

Węzeł podporowy stanowi przepona łącząca zakończenia dźwigarów głównych, dodatkowo usztywniona.

Podwieszenie zasuwę poprzez koło łańcuchowe umieszczono w konstrukcji przyspawanej do przepony węzła podporowego.

Opierzenie zasuwę stanowi blacha, o grubości 10 mm poniżej dźwigara dolnego, 11 mm pomiędzy dźwigarami i 9 mm ponad dźwigarem głównym. Blacha opierająca opiera się na belkach poziomych, na pasach dźwigarów głównych oraz na słupach pionowych opierzenia. Blacha opierająca została wliczona do wszystkich współpracujących przekrojów. Styki poziome blachy opierającej z pasami dźwigarów głównych były spawane podczas montażu. Styk pionowy montażowy całej blachy opierającej jest nitowany. Belki poziome rusztu wykonano z ceowników, a słupy z blach spawanych.

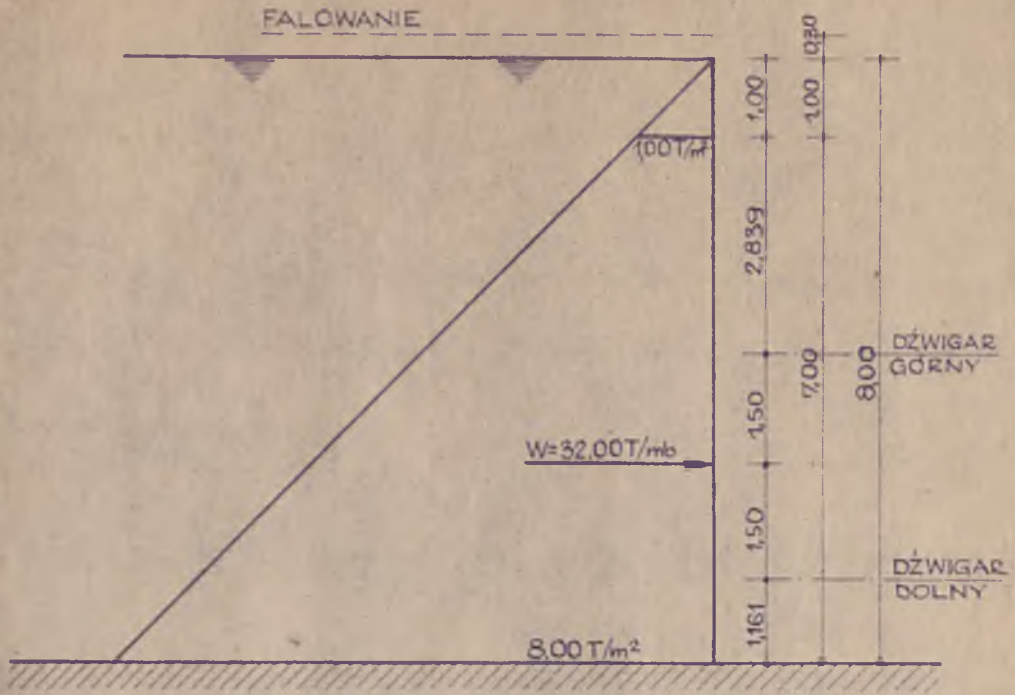
Klapę wykonano jako klapę powłokową. Promień zewnętrznej /odwodnej/ powierzchni kłapy wynosi 5,40 m. Promień części odpowietrznej kłapy wynosi 1,041 m. Kłapa jest nieprzecięta w środku; napęd kłapy dwustronny za pomocą łańcuchów zaczepionych do skrajnych przepon. Kłapa wsparta jest na dziewięciu łożyskach w płaszczyznach węzłów dźwigara głównego. Grubość blach kłapy wynosi 7 mm. Klapę usztywniają nad łożyskami przepony. Skrajne przepony kłapy, za które jest ona podnoszona są grubsze. We wszystkich środkowych przeponach są wykonane otwory przełazowe o wymiarach 400 x 600 mm. Ruszt kłapy stanowią ceowniki 120 przyspawane do przepon.

Uszczelnienia dolne zasuwę stanowią belki dębowe dociskane ciężarem zasuwę do progu. Uszczelnienia boczne stanowią wałki gumowe

umieszczone na blasze sprężynującej dociskane parciem wody do filara. Uszczelnienie między klapą i zasuwą wykonano z pasa gumowego przykręconego do zasuw i klapy. Uszczelnienie boczne klapy stanowią wałki gumowe przylegające do bocznego fartucha klapy.

W niniejszej części tego rozdziału omówiono jedynie szczegółowo sposób obliczania dźwigara głównego zasuw płaskiej, podając jednocześnie jego podstawowe parametry ze względu na to, iż w dalszej części pracy zajęto się porównaniem sposobów obliczania i projektowania tej najważniejszej, mającej istotny wpływ na ciężar, części zasuw płaskiej. Pozostałe elementy do porównania przyjęto identycznie jak dla tego zrealizowanego przykładu, chyba, że układ geometryczny wymagał zaprojektowania nowych elementów w całości lub w części. Dlatego też ograniczono się do omówienia pozostałych elementów zasuw płaskiej w formie ogólnej, przedstawionej wyżej, przyjmując całkowity ciężar zasuw na podstawie zestawienia zaprojektowanych i wbudowanych elementów zasuw płaskiej.

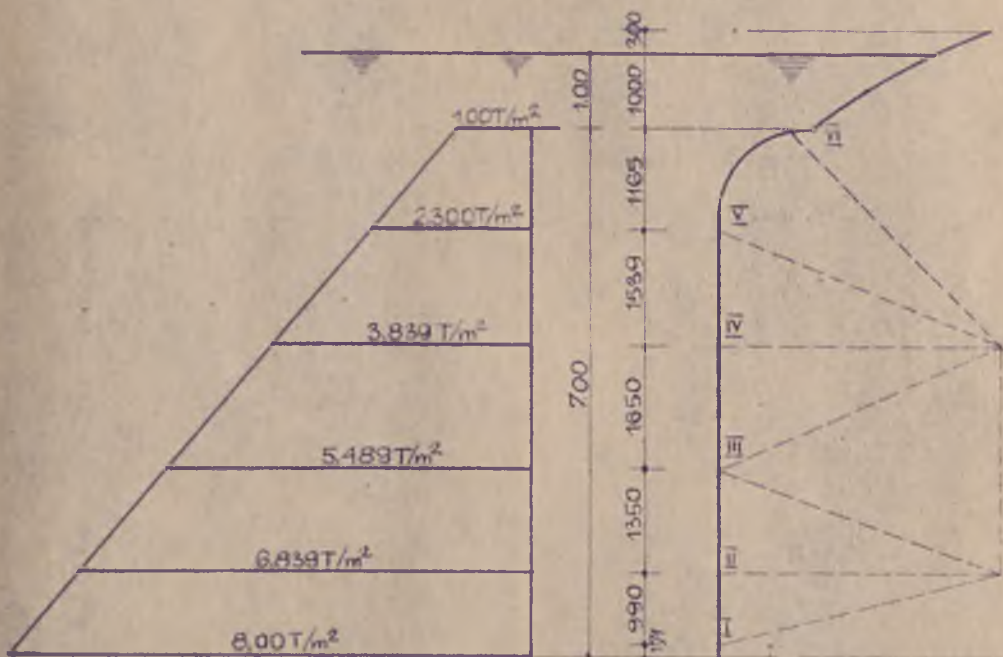
Obciążenie zasuw płaskiej stanowi ośmiometrowa warstwa wody / rys. 2.1./ . Wody dolnej nie uwzględniono, gdyż w okresach remontowych może ona nie występować. Przy projektowaniu przyjęto obciążenie hydrodynamiczne klapy na podstawie badań modelowych w laboratorium.



Rys.2.1.

Całkowite parcie wody na 1 m zasowy wynosi 32,00 T.

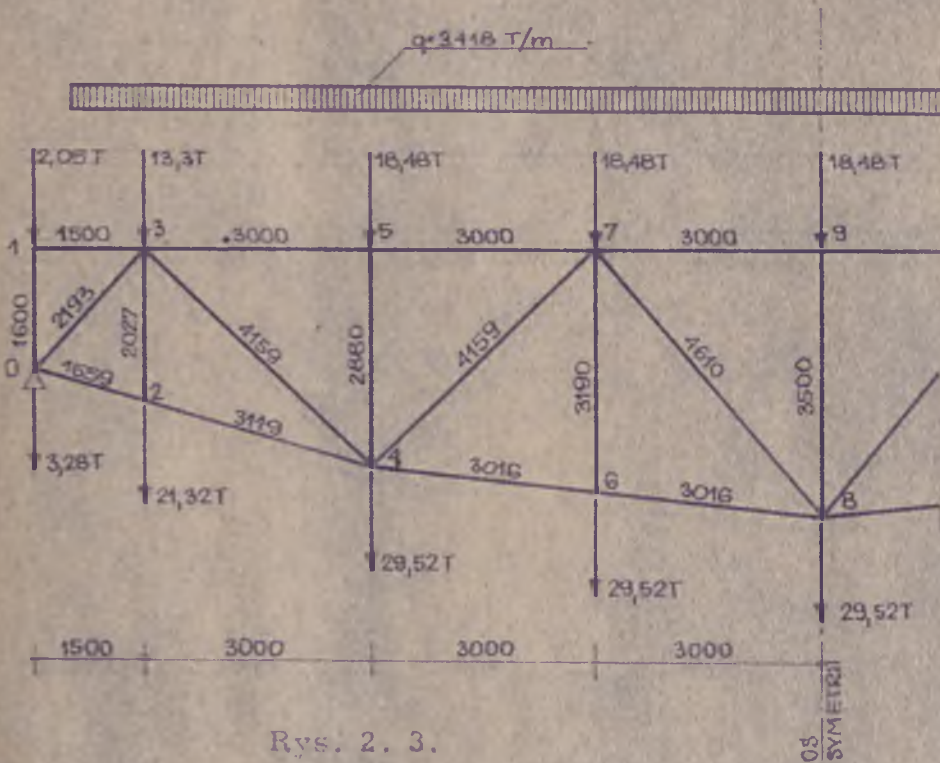
Dźwigary główne zasowy rozmieszczono w założeniu ich jednakowego obciążenia /rys. 2.1./. Schemat obciążenia poziomego dźwigarów głównych oraz belek poziomych rusztu piętrzącego pokazano na rys. 2.2.



Rys.2.2.

Dźwigar główny zasuwy stanowi krata o pasach nierównoległych, przy czym pas od strony odwodnej jest prosty, a pas od strony odpo-
wietrznej łamany.

Kratownicę, będącą dźwigarem głównym, obliczono jako kra-
townicę o węzłach przegubowych posługując się schematem statycznym
pokazany na rys. 2.3.



Rys. 2. 3.

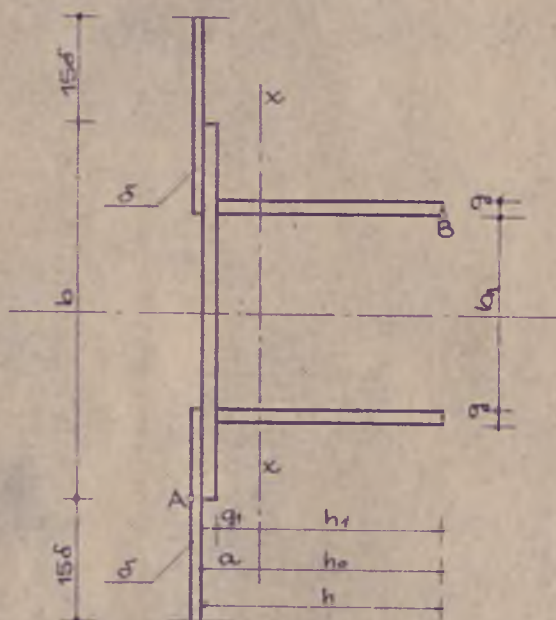
Na tej podstawie ustalono wielkość sił w poszczególnych
prętach kraty. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 2.1.

Tablica 2.1.

Część kraty	Numer pręta	Długość pręta mm	Siła w przecie T
Pas prosty	1 - 3	1500	0
	3 - 5	3000	- 205,2
	5 - 7	3000	- 205,2
	7 - 9	3000	- 250,0
Pas zatamany	0 - 2	1559	+ 117,5
	2 - 4	3119	+ 117,5
	4 - 6	3016	+ 253,8
	6 - 8	3016	+ 253,8
Krzyżulce	0 - 3	2193	- 166,7
	3 - 4	4159	+ 127,0
	4 - 7	4159	- 66,0
	7 - 8	4610	- 3,5
Słupki	0 - 1	1600	- 2,05
	2 - 3	2027	+ 21,32
	4 - 5	2880	- 18,48
	6 - 7	3190	+ 29,32
	8 - 9	3500	- 18,48

Na podstawie obliczonych wartości sił w elementach zasuwy płaskiej, zaprojektowano i zrealizowano dźwigar główny o skrzyńkowym profilu pasa prostego i załamane.

Przy projektowaniu przekroju poprzecznego poszczególnych prętów pasów uwzględniono współpracę blachy opierającej, przyjmując do współpracy po 15 grubości blachy z każdej strony. Przekrój pasa podano na rys. 2.4.



Rys. 2.4.

W tabelicy 2.2. zestawiono wyniki naprężeń podając ich wartości we włóknach skrajnych przekroju. Naprężenia zredukowane w blasze opierającej obliczono na podstawie wzoru Hubera, ze względu na dwukierunkowe zginanie. W pasie prostym dźwigara głównego naprężenia zostały obliczone z uwzględnieniem momentów zginających od bezpośredniego parcia wody. Pas ten potraktowano jako belkę ciągłą stosując wzory do obliczenia momentów przęsłowych i podporowych wg [18]

Tablica 2.2.

Część kraty	Pręt	Pole przekroju F^2 cm	Moin. bezwład. I_x^2 cm	G_A KG/cm ²	G_B KG/cm ²	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7
Pas prosty	1-3					
	3-5	238,9	21990	- 875	- 1111	w węźle
	5-7					
Pas załamany	7-9	285,3	28390	- 921	- 1115	w węźle
	0-2					
	2-4	153,6	1455	770	770	
	4-6					
	6-8	244,8	25350	1030	1030	

c.d. tablīcy 2.2.

1	2	3	4	5	6	7
	0 - 3	153,6	16052	- 1135	- 1135	
	3 - 4	117,6	16060	1080	1080	
	4 - 7	74,8	5380	- 990	- 990	
	7 - 8	34,0	728	- 151	- 151	

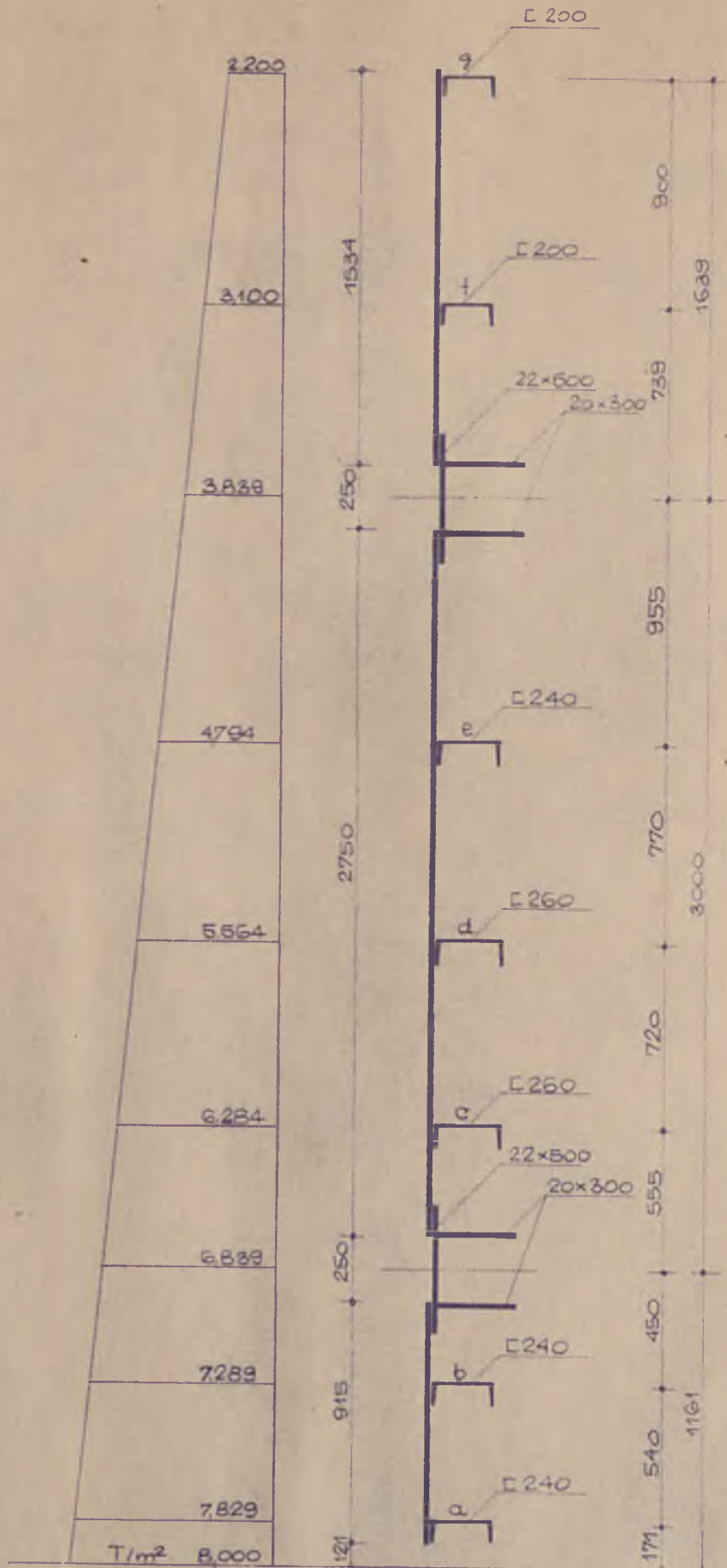
krzyżulce

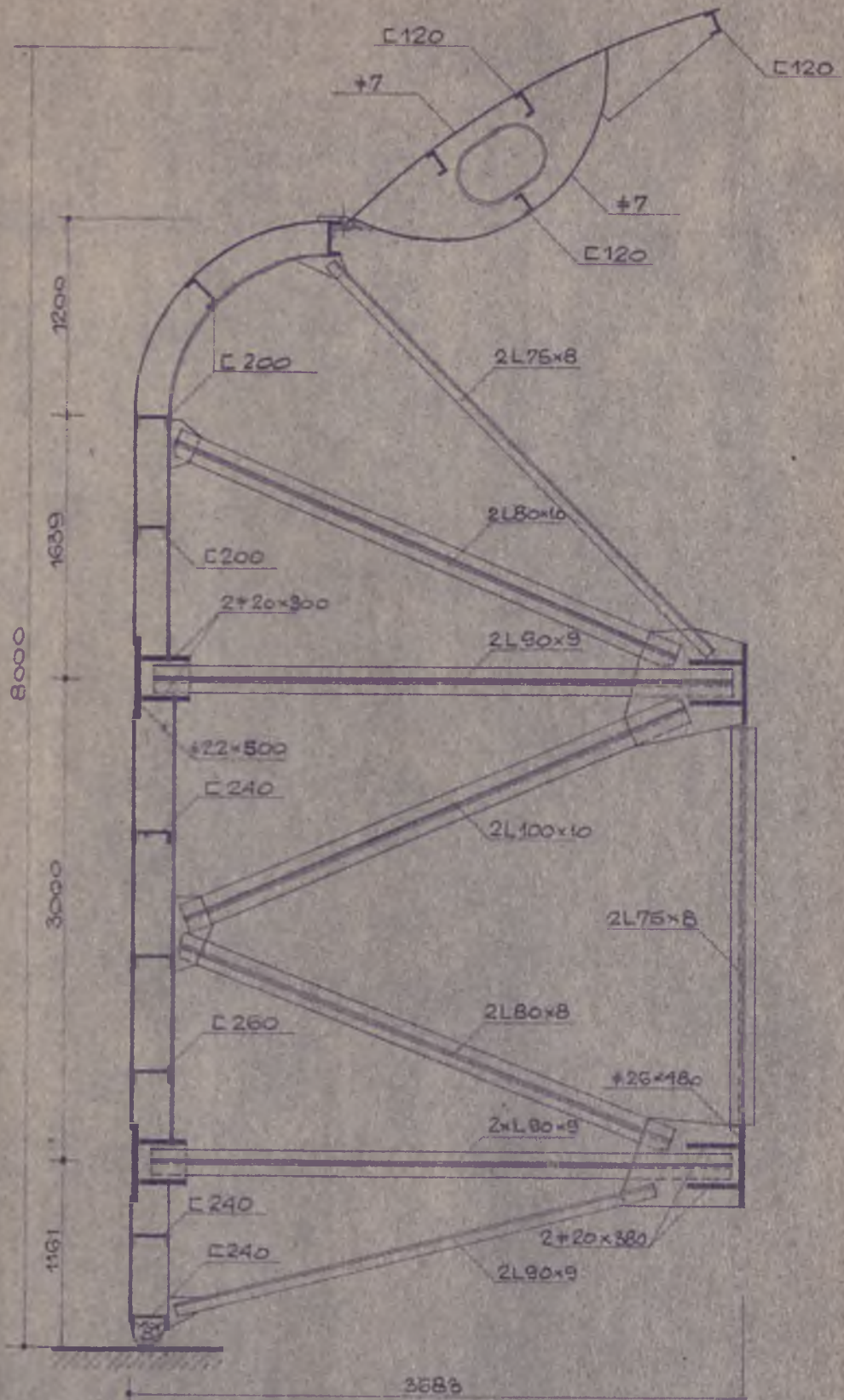
e. d. tablisy 2.2.

1	2	3	4	5	6	7
	0 - 1	23,0	354	- 196	- 196	
	2 - 3	23,0	289	927	927	
	4 - 5	30,2	436	- 1045	- 1045	
	6 - 7	26,2	436	1120	1120	
	8 - 9	31,0	540	- 1111	- 1111	

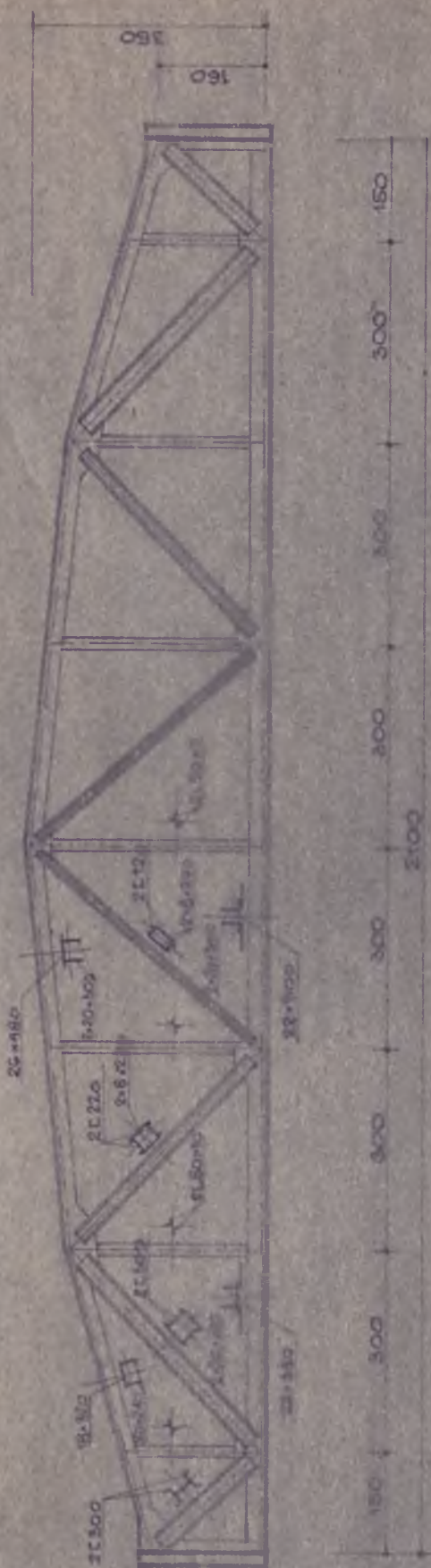
1 x d. 3 4 5







RYS. 2.6.



Р. 5. 2. 7

Ogólny schemat zasuwy płaskiej pokazano na rysunkach 2.5., 2.6., 2.7., na których odpowiednio przedstawiono układ ściany piętrzącej, pionową kratę poprzeczną ze ścianą piętrzącą i dźwigarami głównymi oraz dźwigar główny.

2.2. Konstrukcja zasuwy płaskiej o dźwigarze głównym bezprzekątniowym.

Dźwigar główny zasuwy płaskiej potraktowano jako belkę bezprzekątniową, stosując do jej obliczenia metodę podaną przez prof. Z. Boretti i znaną pod nazwą: "Metoda obliczania dźwigarów bezprzekątniowych o pasach załamanych". [9]. Obliczono również ruszt piętrzący wraz z blachą opierającą, gdyż zależny jest on od rozstawienia słupków w dźwigarze głównym. Stężenie w kratkach pionowych przyjęto na podstawie zrealizowanego projektu.

Klapę lodową oraz uszczelnienie zasuwy przyjęto jak w zrealizowanym projekcie. Elementy te zostały omówione w p. 2.1. niniejszego rozdziału.

Ze względu na konieczność porównania, obliczonej w tym paragrafie zasuwy, z zasuwą zrealizowaną, przyjęto w obliczeniach stal St 37So $k = 1200 \text{ kg/cm}^2$.

Zasadnicze parametry zasuwy przyjęto jak w przypadku zasuwy zrealizowanej opisanej w punkcie 2.1. niniejszego rozdziału.

Konstrukcję zasuwy można podzielić na następujące zasadnicze części:

- ściana piętrząca
- dwa dźwigary główne

- dziewięć pionowych krat poprzecznych
- tylna krata pionowa
- dwa węzły podporowe wraz z podwieszeniem zasuwy i wózków
- uszczelnienia
- kłapa.

Dźwigary główne są oba jednakowe, o schemacie belki bezprzekątniowej. Pas od strony wody górnej prosty, pas od strony wody dolnej załamany. Dźwigar dolny umieszczony jest 1,161 m - zaś dźwigar górny 4,161 m ponad progiem. Wysokość teoretyczna dźwigarów w środku 3,00 m, na podporach 1,50 m. Przekroje wszystkich prętów spawane z blach, o profilu dwuteowym.

Przez każdy węzeł dźwigara głównego przechodzi krata poprzeczna. W skład tej kraty wchodzi między innymi słupki dźwigarów głównych oraz słupy pionowe rusztu piętrzącego. Krzyżulce krat poprzecznych przyjęto z kątowników. Kraty pionowe przekazują parcie poziome wody na dźwigary główne, a obciążenie pionowe na ścianę piętrzącą.

Węzeł podporowy stanowi przepona łącząca zakończenia dźwigarów głównych oraz dodatkowe usztywnienia. Podwieszenie zasuwy do mechanizmów przewidziane jest za pomocą koła łańcuchowego, umieszczonego w skrzynce przyspawanej do przepony węzła podporowego.

Opierzenie zasuw stanowi blacha o grubości od 7 mm do 13 mm. Blacha opiera się na belkach poziomych rusztu piętrzącego, zaprojektowanych z ceowników, a te z kolei na słupach pionowych zaprojektowanych z dwuteowników.

Klapę lodową zaprojektowano w konstrukcji powłokowej. Konstrukcję klapy omówiono w punkcie 2.1. niniejszego rozdziału.

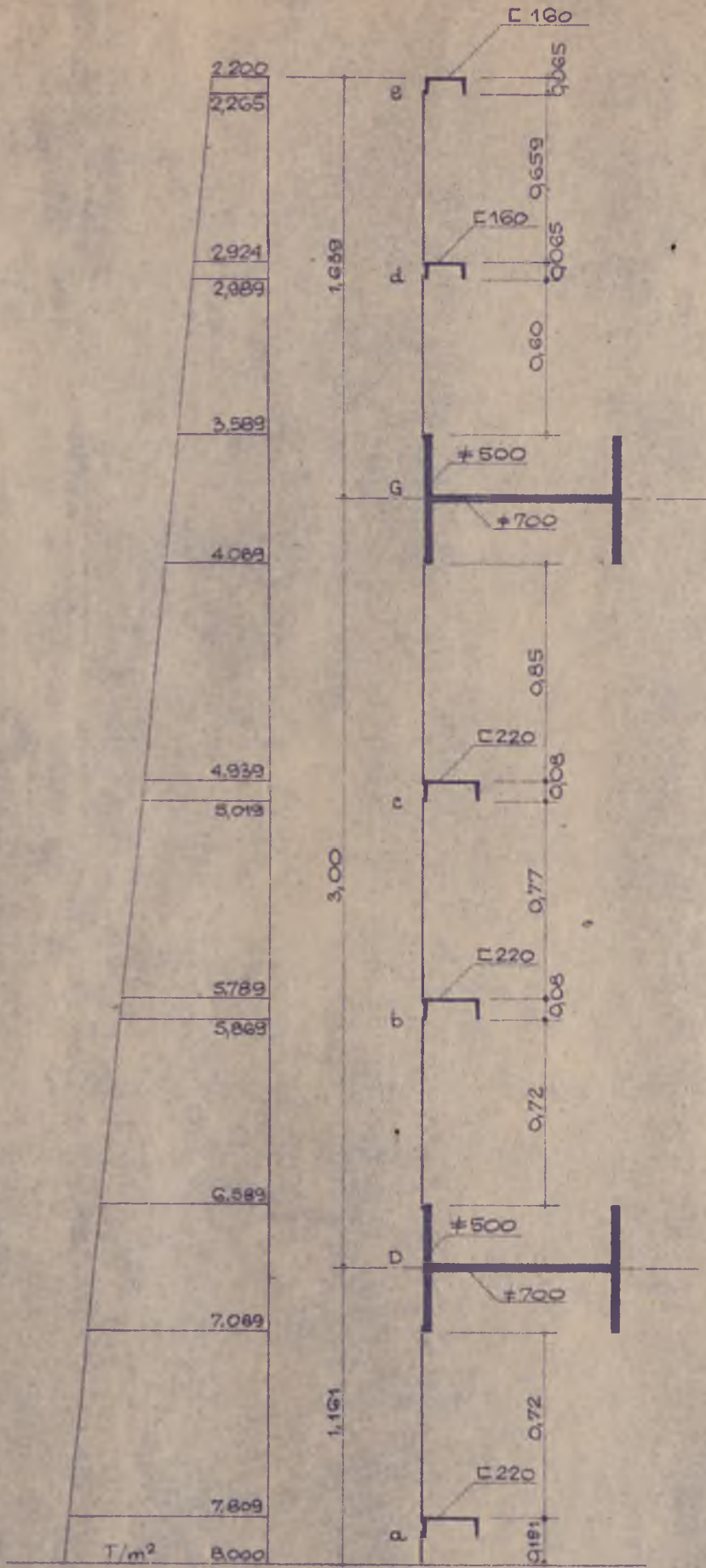
Uszczelnienie dolne i boczne zasuw oraz uszczelnienia klapy omówiono w punkcie 2.1. niniejszego rozdziału.

2.2.1. Opierzenie i ruszt piętrzący zasuw - ściana piętrząca.

Opierzenie wraz z rusztem piętrzącym stanowi blacha opierząca oraz belki pionowe i poziome z elementów walcowanych. Schemat ściany piętrzącej wraz z rozmieszczeniem belek poziomych pokazano na rys. 2.8. Grubość blachy opierzącej obliczono na podstawie wzoru podanego w PN-64/B-03203. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 2.3.

Tabela 2.3.

Poziom	Ciśnienie wody Γ/m^2	Grubość blachy w mm	
		Obliczona	Przyjęta
1	2	3	4
2,265 - -2,924	2,595	6,9	7
2,989 - -3,589	3,289	7,0	7
4,089 - -4,939	4,514	11,8	12
5,019 - -5,789	5,404	11,6	12
7,089 - -7,809	7,449	12,7	13



RYS. 2.8

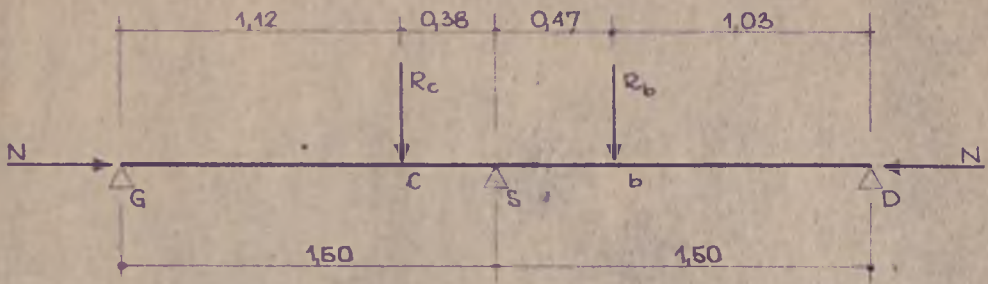
Obciążenie belek poziomych rusztu piętrzącego ustalono wg wskazań PN-64/B-03203. Na tej podstawie wyznaczono momenty zginające, a następnie w oparciu o te wyniki dobrano przekroje poprzeczne belek poziomych. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 2.4.

Tabela 2.4.

Belka	Długość m	Obciążenie T/m	Max moment zginający T_m	Potrzebny wskaznik wytrzymałości cm ³	Przyjęty element walcowa- ny
1	2	3	4	5	6
a	2,10	4,235	2,33	194	[- 220
D	-	8,343	-	-	-
b	2,10	4,795	2,64	220	[- 220
c	2,10	4,408	2,43	203	[- 220
G	-	4,794	-	-	-
d	2,10	2,040	1,12	93	[- 160
e	2,10	0,965	0,53	44	[- 160

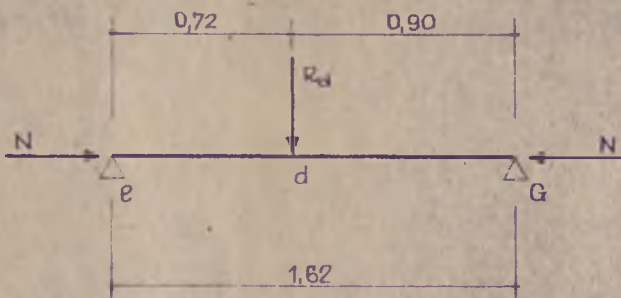
Ze względów konstrukcyjnych przyjęto jednakowe słupy pionowe poniżej dźwigara głównego dolnego oraz między dźwigarami głównymi. Słup ten obciążony jest reakcjami R_b i R_c belek poziomych oraz siłą osiową wynikającą z obciążenia pionowego przy oparciu zasuw na progu. Oparcie słupa w punktach G i D stanowią dźwigary główne; natomiast w punkcie S podparcie stanowią dwa pręty kraty stężącej pionowej./rys. 2.14/.

Schemat statyczny słupa pionowego przedstawiony jest na rysunku 2.9.



Rys. 2.9.

Słup pionowy powyżej dźwigara głównego górnego jest obciążony reakcją R_d belki poziomej oraz siłą osiową wynikającą z obciążenia pionowego przy oparciu zasuwki na progu. W punkcie G jest on oparty o dźwigar główny górny, zaś w punkcie C podparcie stanowi pręt kraty stężącej pionowej /rys. 2.14./. Schemat statyczny słupa przedstawiono na rysunku 2.10.



Rys. 2.10.

Obliczenie słupów pionowych wg schematów statycznych, przedstawionych na rysunkach 2.9. i 2.10. zestawiono w tabelicy 2.5.

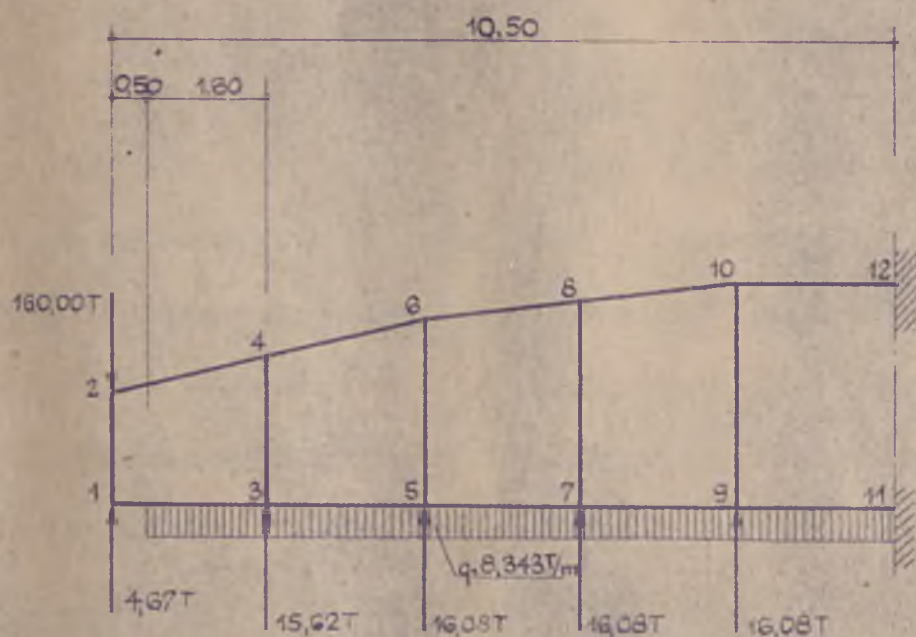
Tablica 2.5.

Schemat statyczny rys.	Prze-krój	Pole przekroju cm^2	Obc. pionowe N T	Reakcje w T		Mom. zginające w Tm				Maksymalne naprężenie KG/cm^2	
				R_b	R_c	R_d	M_b	M_c	M_d		M_s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.9.	[- 220	39,6	9,00	10,07	9,26	-	1,52	0,75	-	- 2,52	- 1133
2.10.	[- 220	33,5	5,20	-	-	4,28	-	-	1,71	-	- 955

2.2.2. Dźwigar główny.

Dźwigary główne zasuw płaskiej rozmieszczono w pionie w założeniu jednakowego ich obciążenia. Schemat obciążenia dźwigarów głównych pokazano na rys. 2.1. Całkowite parcie poziome wody na oba dźwigary wynosi 32,00 T/mb.

W niniejszym paragrafie obliczono dolny dźwigar zasuw płaskiej ponieważ na pas odwodny działa większe bezpośrednie obciążenie wody. Dobrane dla niego przekroje poprzeczne przyjęto również i dla dźwigara górnego. Oba dźwigary wobec tego są jednakowe tak jak i w zasuwie o dźwigarach kratowych.



Rys. 2.11.

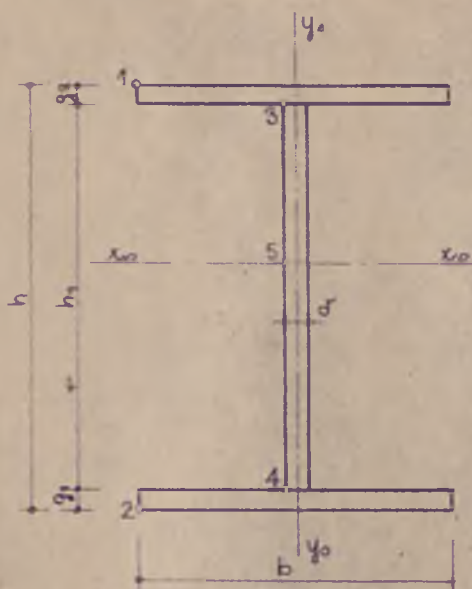
Ze względu na symetrię układu i obciążenia rozpatrzono tylko połowę ramy obliczając wielkości statyczne na podstawie schematu, przedstawionego na rysunku 2.11., stosując "Metodę obliczania dźwigarów bezprzekadniowych o pasach załamanych" [9]. Metoda ta, której podstawę stanowi sposób kolejnych przybliżeń Crossa, jakkolwiek nie jest metodą ścisłą, to jednak dla praktyki jest ona wystarczającą. Obliczanie ramy wg schematu statycznego pokazanego na rys. 2.11. wykonano w dwóch etapach. W pierwszym etapie wyznaczono momenty węzłowe przy założeniu nieprzesuwności węzłów ramy, natomiast w drugim etapie uwzględniono rzeczywistą możliwość przesuwania się węzłów ramy. Po zeumowaniu wyników obu etapów wielkości momentów węzłowych oraz sił poprzecznych i podłużnych zestawiono w tabelicy 2.6.

Na podstawie zestawionych w tabelicy 2.6. wartości momentów zginających, sił podłużnych i sił poprzecznych przyjęto przekroje poprzeczne poszczególnych prętów ramy i sprawdzono w nich naprężenie normalne, statyczne oraz naprężenie zastępcze wg Hubera [19] w punktach charakterystycznych, przyjmując przypadek najniekorzystniejszy t.j. jednoczesne ściskanie / rozciąganie / i zginanie pręta. Naprężenia sprawdzono w pięciu /1-5/ charakterystycznych punktach przekroju poprzecznego pręta / rys. 2.12/.

Tablica 2.6.

Część dźwiga- ra	Pręt ij	Siła nodłużna N_{ij} T	Moment węzłowy		Siła poprzeczna	
			M_{ij} M_{ji} Tm		T_{ij} T_{ji} T	
1	2	3	4		5	
pas prosty	1 - 3	- 106,22	- 80,16 - 49,81	- 66,98 - 53,63		
	3 - 5	- 204,14	- 48,05 - 24,65	- 43,38 - 25,86		
	5 - 7	- 250,06	- 32,76 - 24,22	- 35,89 - 18,37		
	7 - 9	- 274,39	- 9,23 - 9,27	- 17,57 - 0,05		
	9 - 11	- 281,62	- 1,57 - 16,07	- 17,16 + 0,36		
pas załamany	2 - 4	+ 123,80	- 79,17 - 53,21	+ 79,17 - 53,21		
	4 - 6	+ 217,86	- 44,77 - 27,66	+ 44,77 - 27,66		
	6 - 8	+ 255,06	- 29,73 - 27,29	+ 29,73 - 27,29		
	8 - 10	+ 277,39	- 6,16 - 12,34	+ 6,16 - 12,34		
	10 - 12	+ 281,62	- 1,50 - 19,14	- 1,50 - 19,14		
słupki	1 - 2	- 71,68	+ 80,16 + 79,17	- 80,16 + 79,17		
	3 - 4	- 5,23	+ 97,86 - 97,98	- 97,86 + 97,98		
	5 - 6	- 26,17	+ 57,41 + 57,39	- 57,41 + 57,39		
	7 - 8	- 15,44	+ 33,45 + 33,45	- 33,45 + 33,45		
	9 - 10	- 33,08	+ 10,84 + 10,84	- 10,84 + 10,84		
	11 - 12	- 8,40	- 16,07 - 19,14	+ 0,36 - 19,14		

Dla wszystkich prętów przyjęto przekrój dwuteowy złożony z blach prostokątnych, pokazany na rys. 2.12.



Rys. 2.12.

Wyniki obliczenia naprężeń w poszczególnych prętach układu ramowego zestawiono w tabelicy 2.7.

Ogólny schemat zasuwy płaskiej o dźwigarach bezprzekątniowych pokazano na rysunkach 2.8, 2.13 i 2.14, na których odpowiednio przedstawiono schemat ściany piętrzącej, dźwigar główny oraz pionową kratę stężającą.

Tablica 2.7.

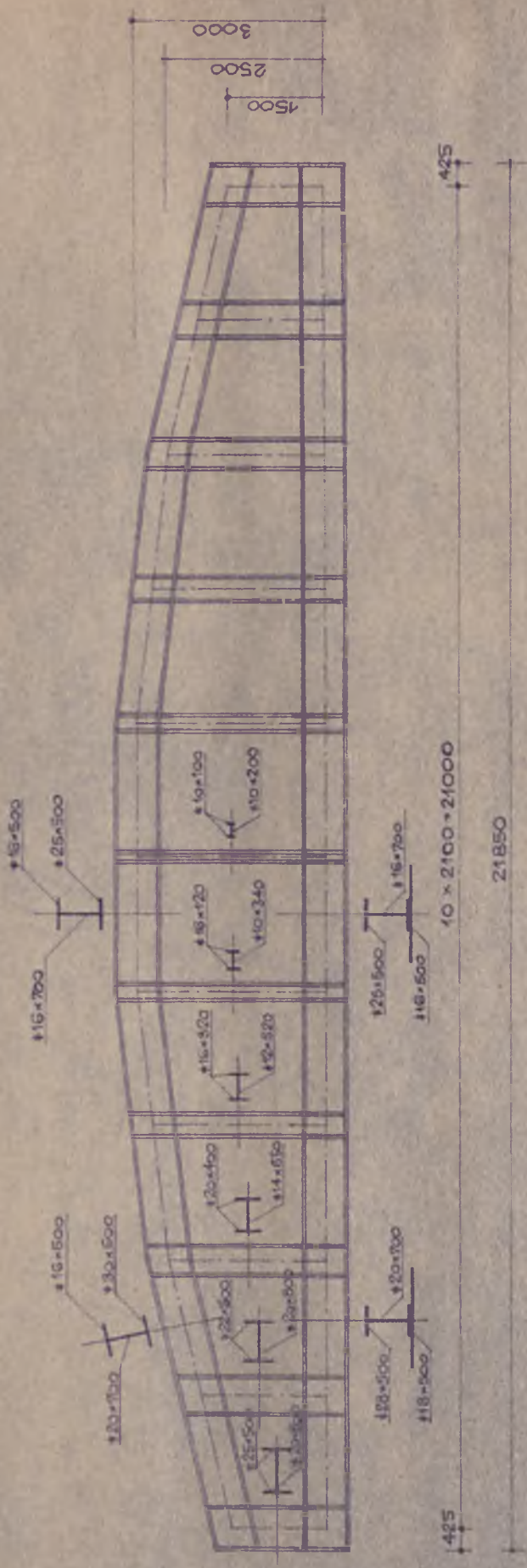
Część dźwiga - Pręt ra	Pole prze- kroju F cm ²	Moment bez- władn. I _{x0} cm ³	N a p r ęż e n i a w KG/cm ²											
			normalne					styczne					zredukowane	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			σ ₁	σ ₂	σ ₃	σ ₄	σ ₅	τ ₃	τ ₄	τ ₅	σ ₃	σ ₄	σ ₅	
1-3	360,0	3331360	-1059	740	-992	702	-295	427	339	511	1237	915	933 ⁴	
			180	-938	138	-914	-295	343	272	410	610	1028	769	
3-5	360,0	3331360	-1025	54	-985	30	-567	276	243	331	1098	820	806	
			385	-984	-403	-911	-567	206	175	143	538	1017	769	
5-7	317,0	303760	-1136	-337	-1109	-354	-789	286	243	338	1215	550	982	
			-532	-1123	-752	-1110	-789	146	124	173	625	1131	844	
7-9	317,0	303760	-964	-739	-956	-744	-866	140	119	165	986	767	912	
			-766	-994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9-11	317,0	303760	-905	-866	-903	-867	-888	137	116	162	934	890	931	
			-718	-1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-4	370,0	341110	-679	1052	-642	983	335	308	396	468	835	1199	877	
			1017	-147	992	100	335	308	396	468	1126	693	877	
4-6	370,0	341110	15	995	36	956	589	169	217	256	295	1026	737	
			943	338	930	363	589	169	217	256	975	523	737	

pas prosty

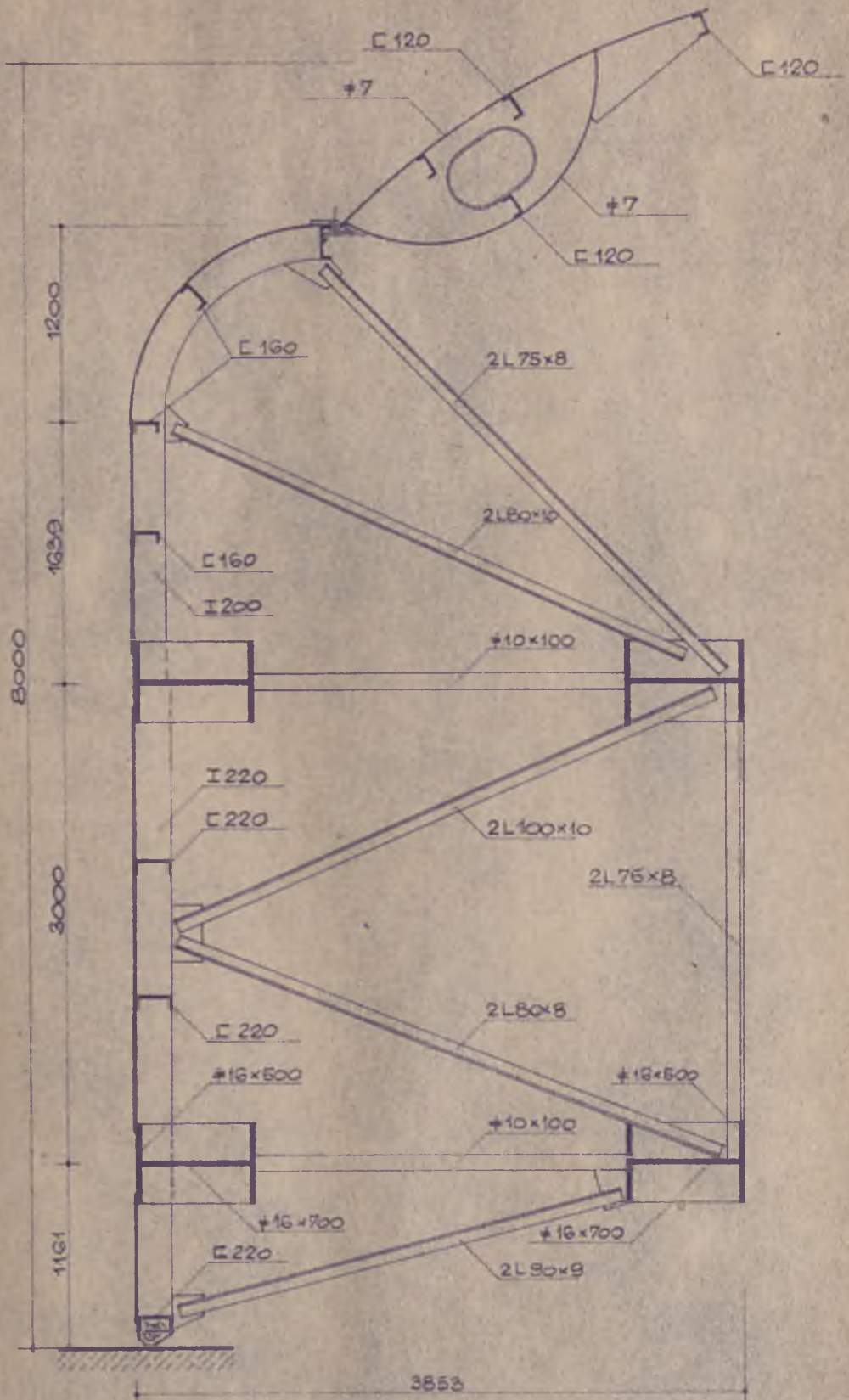
d. Table 2.7.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pas zalamany															
6-8			317,0	303760	1181	516	1167	538	805	183	215	254	519	1158	917
8-10			317,0	303760	1181	516	1167	538	805	183	215	254	519	1158	917
10-12			317,0	303760	1152	685	1142	701	888	57	67	79	1146	711	898
1-2			410,0	510720	492	-842	453	-803	-175	537	537	705	1229	1229	1234
3-4			380,0	456960	-919	891	-872	844	-14	484	484	666	1210	1210	1154
5-6			251,0	211600	832	-1040	778	-986	-104	415	415	529	1220	1220	922
7-8			164,8	87610	960	-1148	899	-1087	-94	318	318	-	1219	1219	-
9-10			98,0	23560	518	-1194	444	-1120	-338	175	175	-	1160	1160	-
11-12			40,0	167	-	-	-	-	-719	-	-	-	-	-	-

s t u p k i



RYS.2.13.



RYS. 2.14.

2.3. Konstrukcja zasuw płaskiej o dźwigarze głównym blachownicowym.

W niniejszym paragrafie obliczono dźwigar główny zasuw płaskiej jako belkę blachownicową.

Elementy pozostałe zasuw płaskiej t.zn.

- stężenia pionowe / poprzeczne i podłużne/

- ścianę piętrzącą

- klapę lodową

- uszczelnienia

- węzły podporowe wraz z podwieszeniem zasuw i wozków

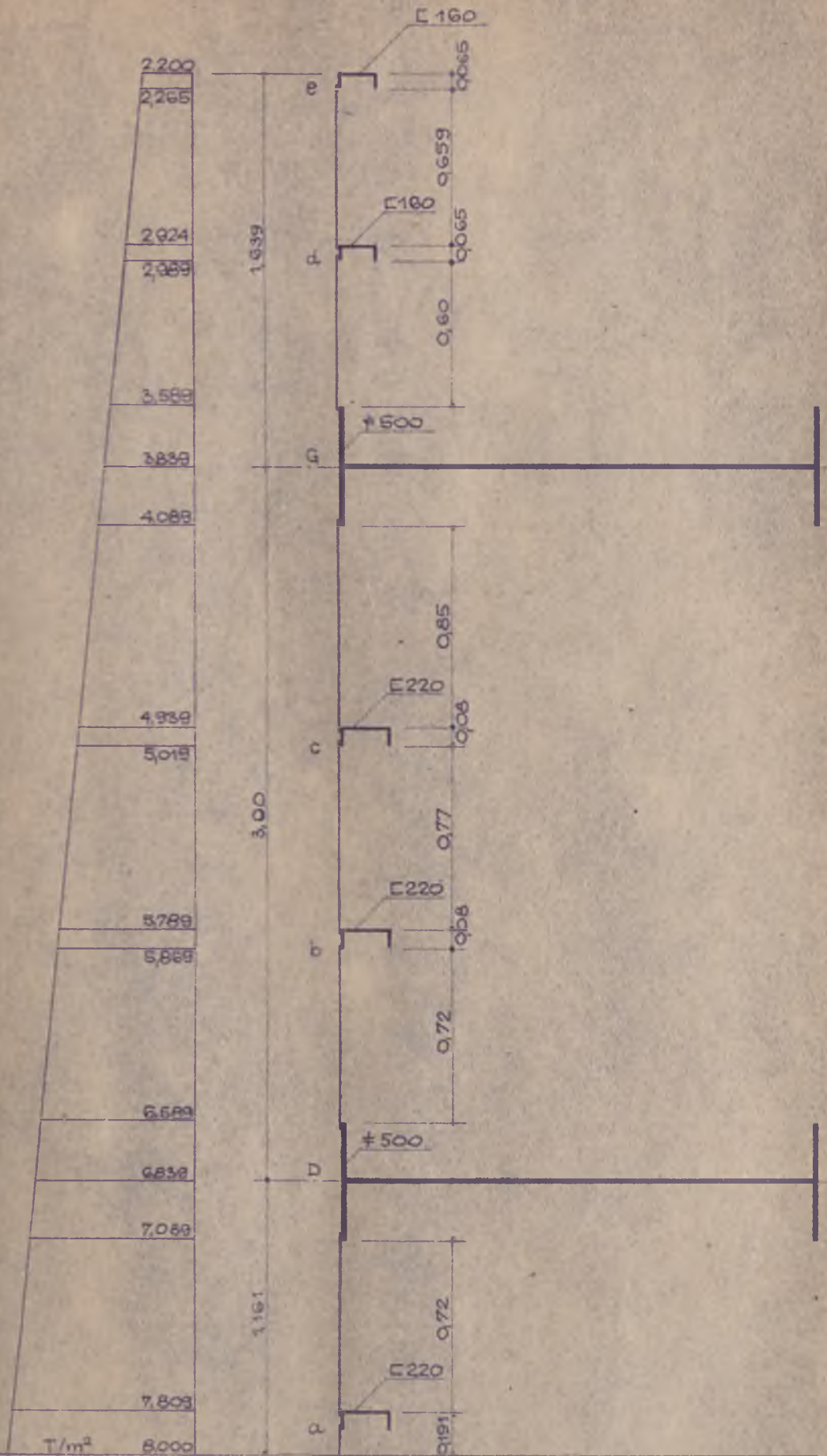
przyjęto na podstawie projektu zrealizowanego, omówionego w p.2.1.

oraz na podstawie mowodobrzanych elementów omówionych w p.2.2.

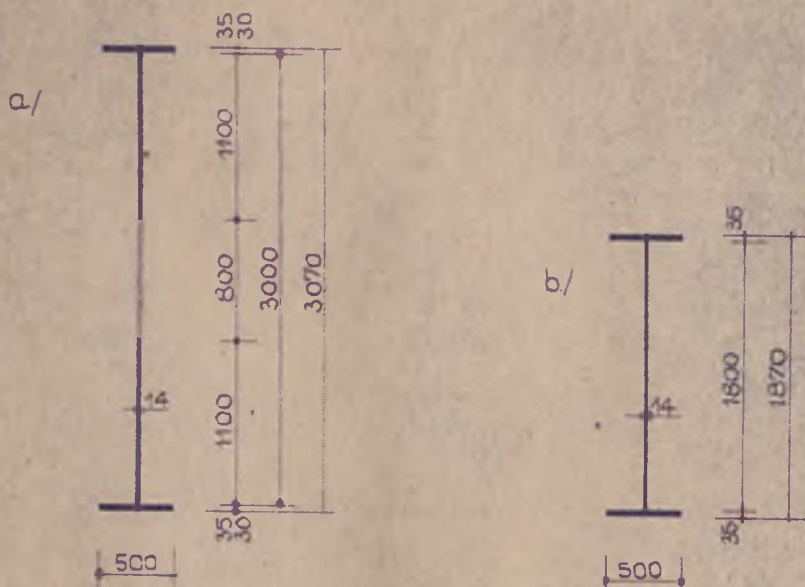
Ze względu na porównywanie zasuw o różnych dźwigarach głównych, belkę blachownicową zaprojektowaną przyjmując jako tworzywo - stal St 37So $k=1200 \text{ kG/cm}^2$.

Zasadnicze parametry zasuw płaskiej przyjęto jak dla zasuw zrealizowanej omówionej w punkcie 2.1.

Dźwigary główne stanowią dwie jednakowe belki blachownicowe o wysokości 3,00 m i rozpiętości teoretycznej 21,00 m. Dźwigar dolny umieszczony jest 1,161 m nad progiem, a dźwigar górny 4,161 m nad progiem. Dźwigary rozstawione są symetrycznie względem wypadkowej poziomego parcia wody / rys. 2.15/. Charakterystyczny przekrój poprzeczny dźwigara głównego w środku rozpiętości i przy podporze przedstawia rysunek 2.16. Dźwigar główny zaprojektowany

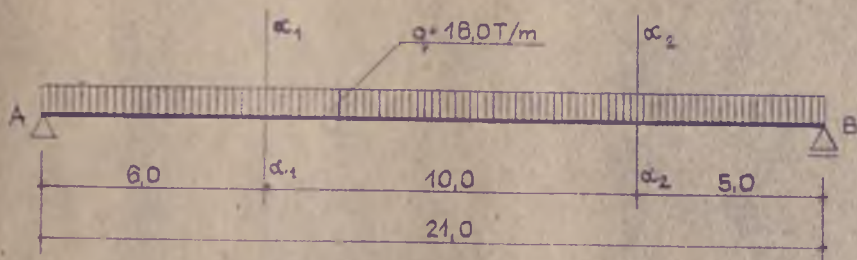


jest jako belka blachownicowa dwuteowa z otworem w środku o średnicy 800 mm.



Rys. 2.16.

Dźwigar główny potraktowano w obliczeniach jako belkę swobodnie podpartą, obciążoną równomiernie obciążeniem 16,00 T/mb, Schemat statyczny dźwigara przedstawiono na rysunku 2.17.



Rys. 2.17.

Obliczenie naprężeń w przekrojach charakterystycznych dźwigara zestawiono w tabelicy 2.8.

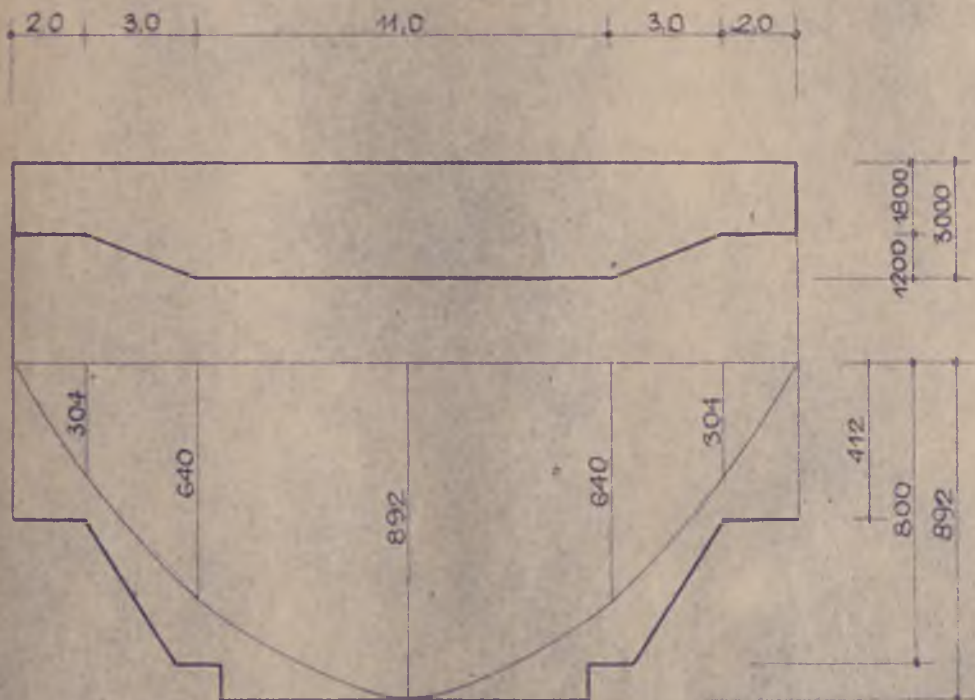
Tabela 2.8.

Moment zginający T_m	Siła poprzeczna T	Moment bezwładności I_x cm^4	Naprężenie kg/cm^2		
			Normalne	Styczne	Zredukowane
1	2	3	4	5	6
882	-	11390000	1185	-	-
		Przekrój w środku rozpiętości dźwigara			
720	72	10155000	1080	115	1100
		Przekrój w odległości 6,0 m od podpory			
640	88	10155000	960	148	995
		Przekrój w odległości 5,0 m od podpory			
-	168	3190000	-	517	-
		Przekrój przy podporze			

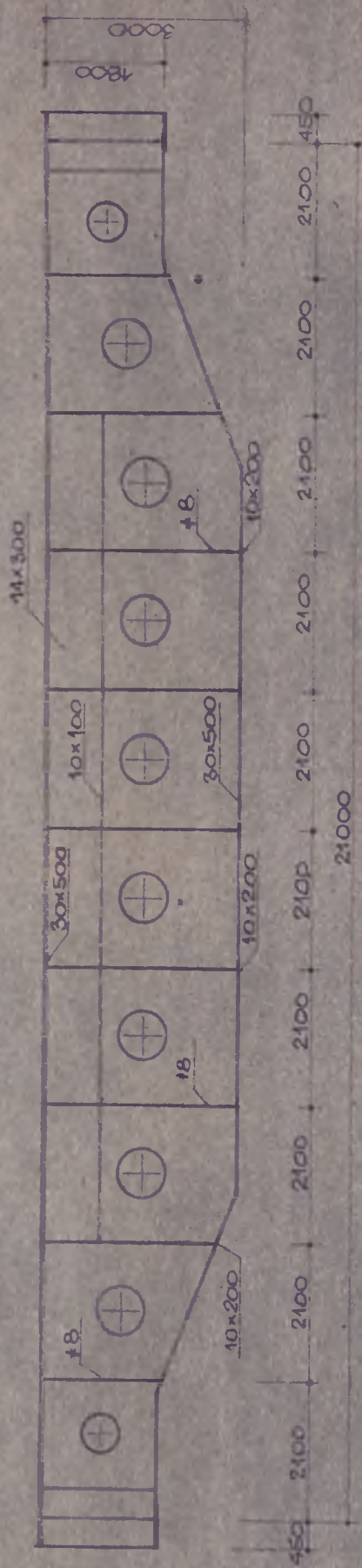
Na podstawie obliczeń statycznych i dobranego przekroju poprzecznego określono nośność dźwigara blachownicowego; obliczenia zestawiono w tabelicy 2.9 oraz pokazano graficznie na rysunku 2.18

Tablica 2.9.

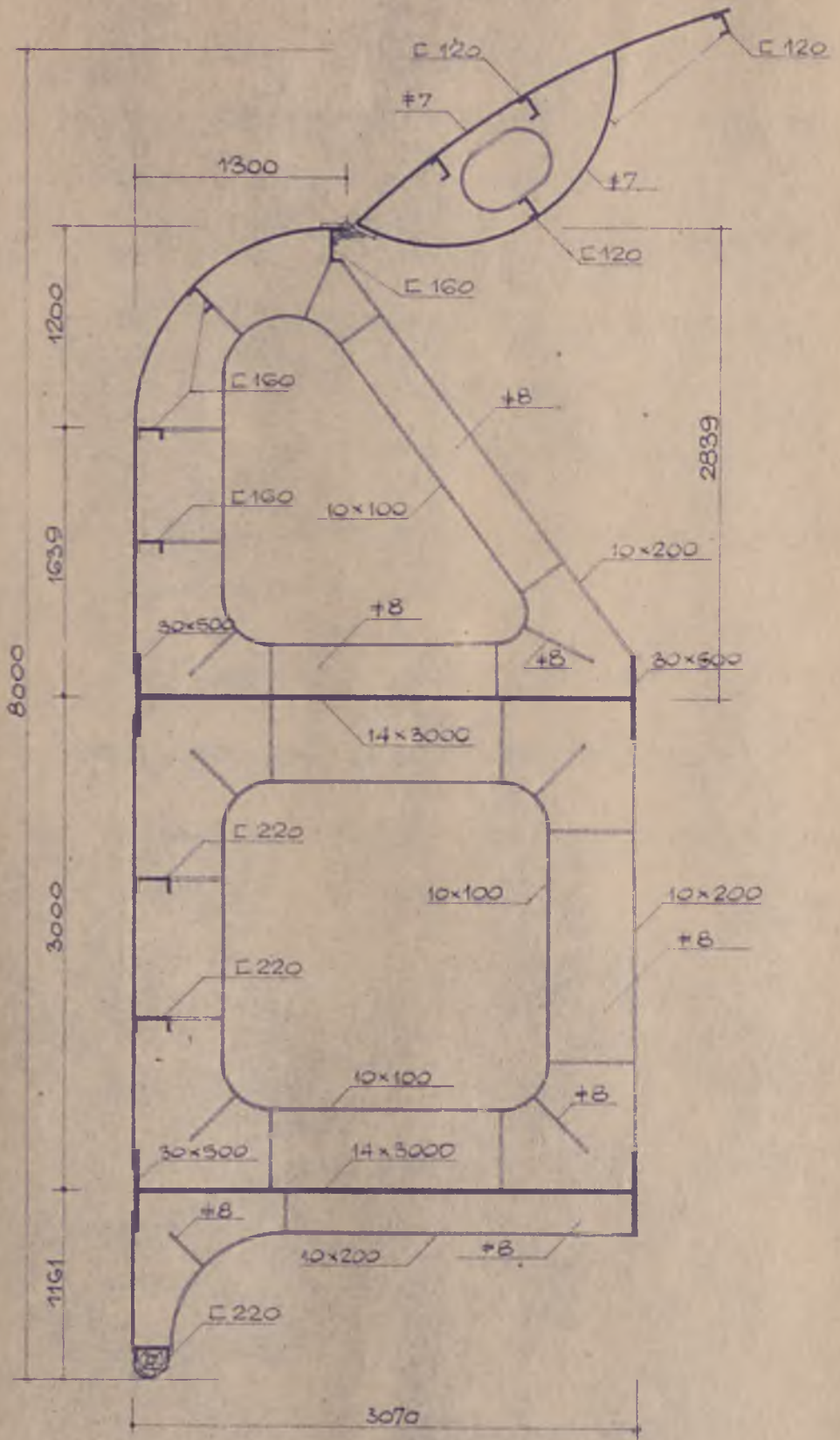
Odległość od podpory m	Moment zginający Tm	Nośność dźwigara Tm
1	2	3
2,00	304	412
5,00	640	800
6,00	7 20	800
8,00	833	892
10,50	882	892



Rys. 2.18.



RYS. 2.19



RYS. 2.20.

Schemat ogólny zasuwę płaskiej o dźwigarach blachownicowych pokazano na rysunkach 2.15., 2.19. i 2.20., na których odpowiednio przedstawiono schemat ściany piętrzącej, dźwigar główny oraz przekrój poprzeczny przez zasuwę płaską.

2.4. Porównanie rozwiązań i wnioski.

W rozdziale niniejszym omówiono na podstawie zrealizowanej zasuwę płaskiej trzy warianty rozwiązania, różniące się w zasadzie między sobą typem dźwigara głównego. Rozważono tu i obliczono:

- zasuwę płaską z klapą z dźwigarem głównym kratowym /przekątnym/; obiekt zrealizowany w naturze,
- zasuwę płaską z klapą z dźwigarem głównym bezprzekątniowym,
- zasuwę płaską z dźwigarem głównym blachownicowym.

Na podstawie zestawienia materiałów obliczono ciężar zasuwę płaskiej z klapą dla tych trzech rozwiązań. Ciężary te zestawiono w tabelicy 2.10.

Tabela 2.10.

Lp.	Zasuwa płaska z klapą o dźwigarze głównym	Ciężar całkowity zasuwę t	% w stosunku do poz. 1
1	2	3	4
1.	Kratowym	64,419	100,0
2.	Bezprzekątniowym	68,776	107,1
3.	Blachownicowym	66,811	103,7

Z zestawienia ciężarów zasuwy płaskiej z klapą uwidocznionego w tablicy 2.10. wynika, że wariant najlżejszy stanowi zasuwa o dźwigarze głównym kratowym /przekątniowym/. Jest to istotne stwierdzenie w aktualnych warunkach krajowych, gdzie niedobór stali jest elementem decydującym o wyborze wariantu rozwiązania. W omawianym tu przypadku - konstrukcji zasuwy płaskiej - wybór wariantu najlżejszego daje jednocześnie dodatkowe efekty ekonomiczne, gdyż od ciężaru zasuwy zależy bezpośrednio ciężar i wielkość mechanizmów wyciągowych, a pośrednio i kubatura filarów wraz z nadbudową. Stroną ujemną zasuwy z dźwigarem głównym kratowym stanowią wyższe koszty montażu i konserwacji samej konstrukcji. Nie są to jednak elementy, które mogą zdecydować w obecnych warunkach o wyborze wariantu rozwiązania.

Na marginesie sprawy należy tu zauważyć, że w warunkach rozwijającego się coraz bardziej budownictwa obiektów gospodarki wodnej, w których użycie stali do zamknięć ruchomych jest niezbędne, o wyborze rozwiązania technicznego powinna decydować, w obecnej sytuacji niedoboru stali, ilość zużytego tego tworzywa.

Dlatego też rozdział następny poświęcono sposobowi obliczania dźwigarów kratowych jako elementów mających istotny wpływ na ciężar zasuwy płaskiej, a jednocześnie elementów, których zastosowanie daje najlżejszą konstrukcję zasuwy płaskiej.

3. Statyka dźwigara głównego przekątniowego.

3.1. Uwagi wprowadzające.

Dźwigary kratowe przekątniowe są obliczane dotychczas w oparciu o tradycyjny schemat kratownicy przegubowej. O ile sposób ten nie wywołuje zastrzeżeń dla dźwigarów kratowych o rzeczywiście przegubowych połączeniach to już przy konstruowaniu dźwigarów stalowych nitowanych lub spawanych, a szczególnie dźwigarów w zasuwach płaskich o dużej sztywności prętów, nie znajduje teoretycznego uzasadnienia.

W tej sytuacji dla racjonalnego obliczenia dźwigarów przekątniowych konieczne jest znalezienie takiego sposobu obliczenia, który doprowadziłby do wyników ścisłych, nienastręczając przy tym znacznie większych trudności rachunkowych. Ścisłego sposobu, który odpowiadałby tym warunkom w literaturze nie znaleziono mimo, że jest ona bardzo bogata. Kilka słów wypada poświęcić krótkdemu omówieniu tej sprawy.

Rozwój badań nad zagadnieniami wpływu sztywności węzłów na naprężenia w prętach kratownicy rozpoczął się już w drugiej połowie dziewiętnastego stulecia. Zapoczątkowały je prace uczonych niemieckich na przełomie lat osiemdziesiątych. Proponowane wówczas sposoby rozwiązywania układów sztywno-węzłowych sprowadzały się z zasady do wyznaczania zmienności kątów w siatce trójkątnej układu kratowego [1], [2]. Nieco później pojawiły się prace z wzorami empirycznymi skonstruowanymi na podstawie pomiarów w naturze [3]. Rozwiązanie układu

o węzłach sztywnych w sposób odmienny od poprzednich, a zarazem uproszczony podał O. Mohr [5]. Sposób ten jest powszechnie znany i stosowany /choć niezwykle rzadko do układów kratowych/. O. Mohr założył, że wartość sił podłużnych w prętach kraty o węzłach sztywnych niewiele się różni od wartości sił podłużnych w prętach kraty przegubowej i wobec tego różnice te można pominąć. Wiele uwagi temu problemowi poświęcili również uczeni rosyjscy, których niektóre prace analizują konkretne przypadki zachowania się obiektów inżynierskich na tle przyjętego dla nich schematu teoretycznego. Także niektórzy uczeni polacy poświęcili uwagę temu problemowi zwłaszcza w odniesieniu do układów kratowych w mostownictwie [4], [6], podając propozycje dotyczące projektowania kratownic z uwzględnieniem sztywności węzłów.

Problem właściwego ujęcia zagadnienia rozwiązywania układów kratowych sztywno-węzłowych pozostaje jednak wciąż aktualny, gdyż wszystkie dotychczasowe sposoby rozwiązywania nie mogą być - z różnych względów - traktowane jako doskonałe. Z jednej strony bowiem sposoby oparte na uproszczonym ujęciu zagadnienia prowadzą do wyników niedostatecznie dokładnych, a z drugiej strony rozwiązanie ścisłe daje się uzyskać drogą bardzo rozwlekłych i mozolnych obliczeń, co właściwie przekreśla użytkową przydatność tej drogi.

Wyrazem tego są stale podejmowane od nowa badania w tym zakresie, czego dowodem są prace z ostatnich lat jak np. praca niemiecka [7], praca polska [8], w których podane są pewne szcze-

gólne przypadki rozwiązania kratownic z przeznaczeniem dla budownictwa mostowego. Propozycje rozwiązywania kratownic o węzłach sztywnych podano również w monografiach [10] , [11] . Proponuje się również w sposób uproszczony uwzględnienie sztywności węzłów kratownic płaskich, przyjmując wzory określające momenty węzłowe tylko w pasach bezpośrednio obciążonych [18] .

Polska norma PN-64/B-03203 [21] podaje również wzory do przybliżonego obliczenia momentów węzłowych w pasach dźwigarów głównych.

Problem przeszywnienia konstrukcji, a co za tym idzie, racjonalnego wykorzystania materiału, problem znalezienia najwłaściwszej metody projektowania dźwigarów w zasuwach płaskich, jest również i obecnie aktualny. Wiele uwagi temu poświęcił w ostatnich latach prof.dr Z. Boretti opracowując m.in. metodę obliczenia dźwigarów bezprzekątniowych o pasach załamanych [9] .

Jak widać z podanego tu krótkiego przeglądu prac nad problemem obliczania dźwigarów kratowych, zagadnienie jest nadal aktualne.

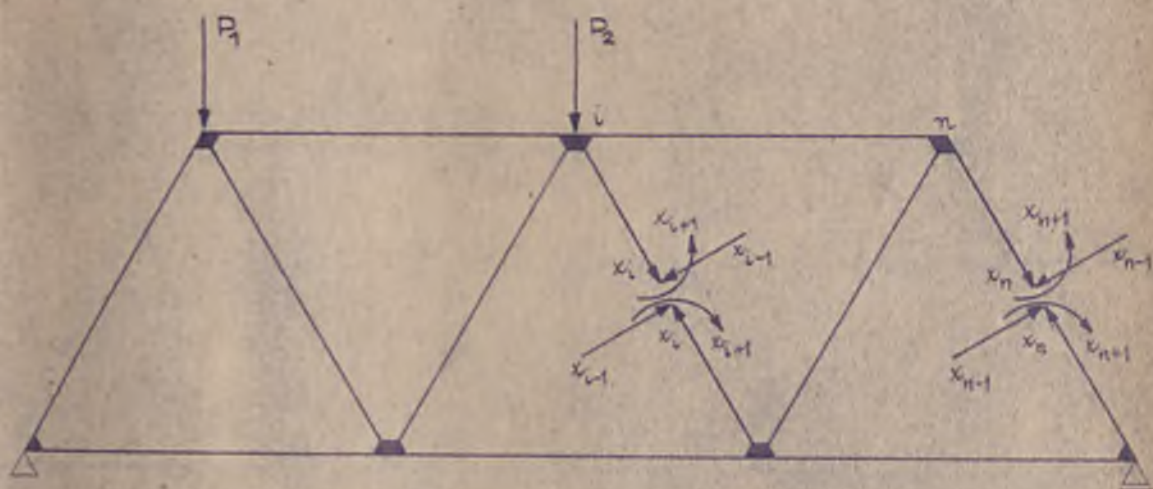
3.2. Obliczenie dźwigarów kratowych z uwzględnieniem sztywności węzłów.

Istnieją dwie w zasadzie, metody ogólne ścisłego obliczania kratowych układów sztywno-węzłowych, a mianowicie: t.zw. metoda sił i metoda przemieszczeń [10] . Obie te metody można uważać za

uniwersalne. Mimo tego jednak nie znajdują one zastosowania praktycznego przy obliczaniu krat sztywno-węzłowych, które na ogół są układami o wysokim stopniu tak hiperstatyczności jak i hipergeometryczności. Przy stosowaniu pierwszej z tych metod zachodzi konieczność przeprowadzenia bardzo uciążliwego praktycznie procesu obliczania współczynników przy niewiadomych wielkościach hiperstatycznych w układzie równań kanonicznych oraz rozwiązanie takiego układu, złożonego przeważnie z wielkiej liczby równań. Przy metodzie drugiej obliczenie współczynników przy niewiadomych w równaniach kanonicznych jest wprawdzie sprawą prostszą, pozostaje jednakże konieczność rozwiązania układu wielu równań. Ta ostatnia okoliczność powinna mieć zresztą coraz mniejsze znaczenie, z uwagi na stale zwiększającą się możliwość korzystania z odpowiednich naszyn matematycznych.

Przedstawiamy tu odmienny od wymienionych wyżej sposób obliczenia kraty sztywnowęzłowej, który można określić jako "sposób przemieszczeń kątowych", z uwagi na to, że w odróżnieniu od wymienionej uprzednio metody przemieszczeń /węzłów/, niewiadomymi przy tym sposobie obliczenia są wyłącznie przemieszczenia kątowe /węzłów i prętów kraty/. Sposób ten, równie ścisły jak i wymienione wyżej, polega na odpowiednim wykorzystaniu wzoru Maxwella - Mohra, określającego kąt obrotu ciężkiwy odkształconego pręta kraty oraz warunków równowagi węzłów. Obliczenie kraty według tego sposobu nie jest sprawą skomplikowaną i nadaje się do stosowania praktycznego.

Układ równań (3.1.) określa warunek zgodności odpowiednich składowych przemieszczenia w miejscach poprzecznych przecięć prętów układu (rys. 3.1.), czyli warunek nierozdzielności układu. Wielkości δ_{ij} i δ_{iP} oznaczają tu uogólnione współrzędne odpowiadające uogólnionym siłom hiperstatycznym X_j , spowodowane działaniem uogólnionych jednostkowych sił: $X_j = 1, P = 1$.



Rys. 3.1.

We wzorach /3.2./ symbolami $N_{\alpha k}^i$ i $M_{\alpha k}^i$ oraz $N_{\alpha k}^P$ i $M_{\alpha k}^P$ oznaczone są siły podłużne i momenty zginające w przekrojach poprzecznych prętów "k" układu wywołane odpowiednio przez uogólnione jednostkowe siły statyczne niewyznaczalne $X_i = 1/$ oraz jednostkowe siły zewnętrzne $P = 1/$ obciążające układ. Symbolami EA_k i EJ_k oznaczone są tutaj odpowiednio sztywności podłużne i poprzeczne prętów "k" /stałe lub zmienne/. Górna granica S całek określonych we wzorach /3.2./ oznacza całkowitą długość pręta "k". Literą r nad znakiem sumy oznaczona jest liczba prętów w układzie.

Chociaż sama forma zapisu równań /3.1./ jest bardzo prosta, to jednak obliczenie układu wieloelementowego jak np. układu przedstawionego na rys. 3.1. na ich podstawie jest sprawą bardzo kłopotliwą ze względu na konieczność wyznaczania dużej liczby wielkości δ_{ij} /np. wg wzoru /3.2./.

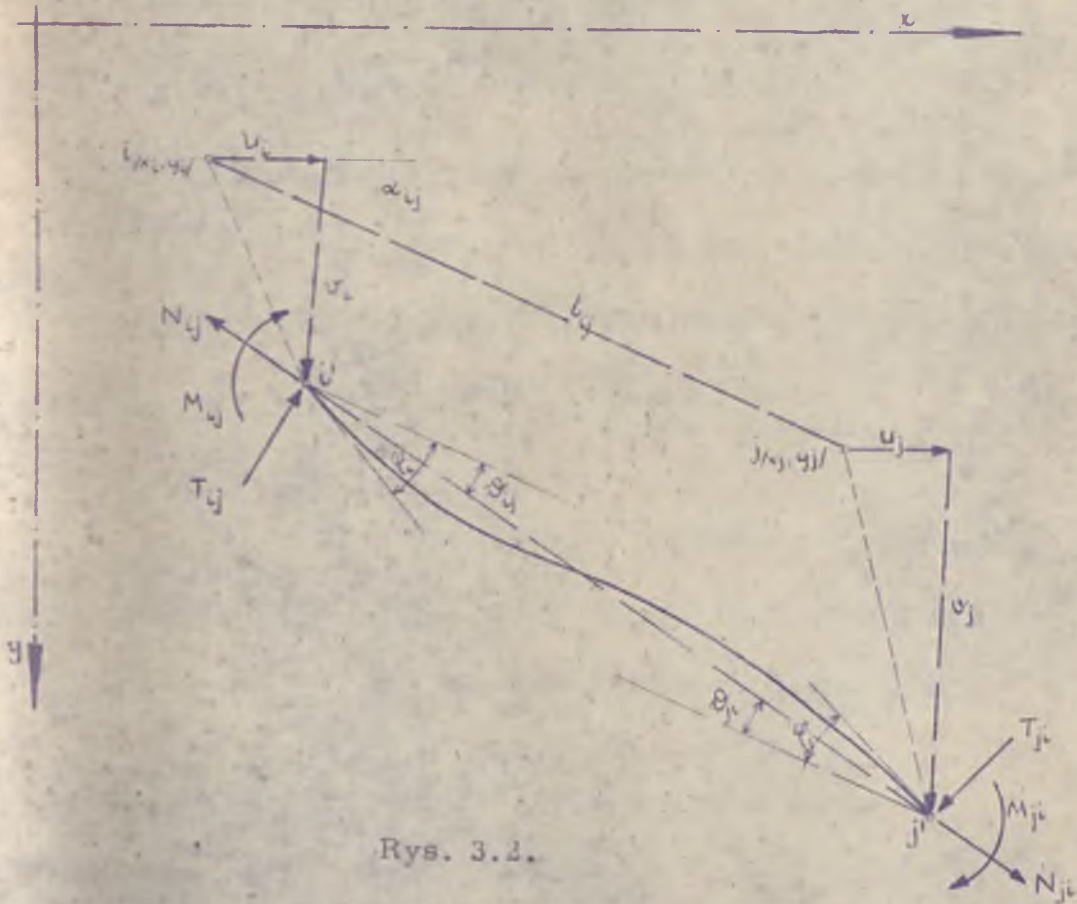
Z tego też powodu metoda powyższa nie znalazła zastosowania przy rozwiązywaniu układów wieloelementowych, w tym również i dźwigarów kratowych sztywno-węzłowych.

W odniesieniu do sztywnowęzłowych układów kratowych ogólna metoda przemieszczeń polega na odpowiednim wykorzystaniu wzoru określającego zależności między zmianą długości pręta, a przemieszczeniami linowymi węzłów obejmujących ten pręt, wzoru przedstawiającego zależność między kątem obrotu cięciwy pręta kraty i przemieszcze-

niemi węzłów obejmujących ten pręt oraz wzorów dla kątów obrotu przywęzłowych przekrojów poprzecznych pręta kraty.

Biorąc pod uwagę oznaczenia przyjęte na rys. 3.2. przedstawiającym dowolny pręt dźwigara kratowego, możemy pierwszy z wyżej wymienionych wzorów napisać w postaci następującej:

$$/3.3/ \quad \Delta l_{ij} = /u_j - u_i/ \cos \alpha_{ij} + /v_j - v_i/ \sin \alpha_{ij}$$



Rys. 3.2.

W przypadku, gdy sztywność pręta $ij - EA_{ij} = \text{const}$, możemy napisać, że :

$$/3.4/ \quad \Delta l_{ij} = \frac{N_{ij} l_{ij}}{EA_{ij}} + \Delta^o l_{ij}$$

gdzie $\Delta^{\circ} l_{ij}$ oznacza zmianę długości pręta ij , spowodowaną ewentualnymi innymi niż siła N_{ij} przyczynami.

Uwzględniając wzór /3.4/ we wzorze /3.3/ dochodzimy do zależności następującej:

$$/3.5/ \quad N_{ij} = /u_j - u_i/ s_{ij} \cos \alpha_{ij} + /v_j - v_i/ s_{ij} \sin \alpha_{ij} - s_{ij} \Delta^{\circ} l_{ij}.$$

$$/3.6/ \quad s_{ij} = \frac{EA}{l_{ij}}$$

Na podstawie rys. 3.2 otrzymujemy z kolei zależność między kątem Θ_{ij} obrotu pręta ij , a składowymi przemieszczenia u_1, v_1, u_j, v_j węzłów j oraz i obejmujących ten pręt:

$$/3.7/ \quad \Theta_{ij} = \frac{/v_j - v_i/ \cos \alpha_{ij} - /u_j - u_i/ \sin \alpha_{ij}}{l_{ij}}$$

Wreszcie ustalamy następujące wzory dla kątów φ_i, φ_j obrotów końcowych przekrojów poprzecznych pręta ij /a zarazem i węzłów i, j /: przy $LJ_{ij} = \text{const}$, możemy tu napisać, że:

$$/3.8./ \quad \left\{ \begin{aligned} \varphi_i &= \frac{l_{ij}}{6EJ_{ij}} /2M_{ij} - M_{ij}/ + \varphi_i^{\circ} + \Theta_{ij}. \\ \varphi_j &= \frac{l_{ij}}{6EJ_{ij}} - /2M_{ji} - M_{ij}/ + \varphi_j^{\circ} + \Theta_{ij}. \end{aligned} \right.$$

We wzorach tych symbolami φ_i° i φ_j° oznaczone są wartości kątów φ_i i φ_j spowodowane ewentualnymi innymi przyczynami niż momenty M_{ij}, M_{ji} oraz nachylenie cięciwy pręta ij .

Traktując obydwa wzory /3.8./ łącznie jako układ równań o dwóch niewiadomych wielkościach M_{ij} oraz M_{ji} wyznaczamy te wielkości. Wyrażają się one ostatecznie wzorami następującymi:

$$/3.9./ \left\{ \begin{array}{l} M_{ij} = g_{ij} / 2 \varphi_i + \varphi_j - 3 \Theta_{ij} / - g_{ij} / 2 \varphi_i^o + \varphi_j^o / , \\ M_{ji} = g_{ij} / 2 \varphi_j + \varphi_i - 3 \Theta_{ij} / - g_{ij} / 2 \varphi_j^o + \varphi_i^o / , \end{array} \right.$$

gdzie:

$$/3.10./ \quad g_{ij} = - \frac{2EJ_{ij}}{l_{ij}}$$

Uwzględniając we wzorach /3.9./ zależność /3.7./ możemy wielkości M_{ij} oraz M_{ji} przedstawić w zależności od składowych przemieszczeń samych tylko węzłów i oraz j, a więc odpowiednio w zależności od wielkości $\varphi_i, u_j, v_i, \varphi_j, u_j, v_j$.

Z warunków równowagi pręta ij wynika wreszcie, że:

$$/3.11/ \left\{ \begin{array}{l} T_{ij} = - \frac{M_{ij} - M_{ji}}{l_{ij}} + T_{ij}^o, \\ T_{ji} = - \frac{M_{ij} - M_{ji}}{l_{ij}} + T_{ji}^o, \end{array} \right.$$

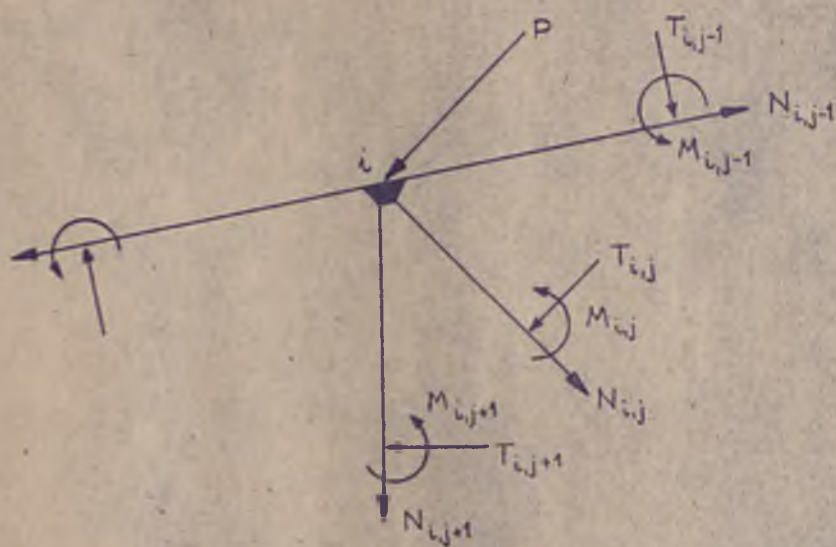
gdzie przez T_{ij}^o i T_{ji}^o oznaczone są tutaj odpowiednie wartości przywęzłowych sił poprzecznych odpowiadające ewentualnemu obciążeniu zewnętrznemu pręta ij.

Uwzględniając wzory /3.5./, /3.9./ i /3.11./ oraz naturalnie wzór /3.7./ układamy równania równowagi dla poszczególnych węzłów

i kraty / rys. 3.3/:

$$/3.12/ \sum_1^m X_i = 0, \sum_1^m Y_i = 0, \sum_1^m M_i = 0,$$

gdzie m oznacza liczbę wszystkich prętów ij łączących się w węźle i .



Rys. 3.3.

Dla swobodnie podpartego dźwigara / rys. 3.1/ o liczbie, w węzłach istnieje liczba

$$/3.13/ \quad t' = 3w - 3$$

niewiadomych składowych przemieszczeń węzłów kraty, natomiast do dyspozycji mamy liczbę 3 w równań /3.12/, a więc 3 spośród tych równań mogą być w danym razie niewykorzystane.

Jak wspomniano, sposób przemieszczeń kątowych polega na wykorzystaniu wzoru Maxwella - Mohra określającego kąt obrotu cięciwy pręta odkształconej kraty oraz równań równowagi węzłów kraty.

Ogólny wzór określający wartość kąta obrotu Θ cięciwy odkształcanego pręta "ps" kraty sztywnowęzłowej ma postać następującą:

$$/3.14/ \quad \Theta_{ps} = \sum_1^r Z_{ij} \cdot \Delta l_{ij},$$

gdzie symbolem Z_{ij} oznaczona jest wartość siły podłużnej w pręcie "ij" odpowiedniej zastępczej kraty przegubowej, wywołanej obciążeniem kraty parą sił o momencie równym jedności, zaczepioną do pręta "ps", symbolem zaś Δl_{ij} - wyrażenie określające zmianę długości l_{ij} pręta "ij".
Przy $EA_{ij} = \text{const}$ możemy wielkość Δl_{ij} wyrazić wzorem /3.2/.

Jak wynika z przytoczonych niżej wzorów wielkość N_{ij} może być przedstawiona jako funkcja kątów obrotu Ψ węzłów i kątów obrotu Θ cięciw odkształcających prętów kraty, co ogólnie można tu ująć wzorem

$$/3.15/ \quad N_{ij} = f_{ij}(\Psi, \Theta).$$

W związku z tym iloczyn pod znakiem sumy w równaniu /3.14/ można ogólnie wyrazić wzorem

$$/3.16/ \quad Z_{ij} \cdot \Delta l_{ij} = F_{ij}(\Psi, \Theta),$$

a równaniu /3.14/ można nadać postać

$$/3.17/ \quad \Theta_{ps} = \sum_1^r F_{ij}(\Psi, \Theta).$$

Równanie /3.17/ układamy dla wszystkich r prętów rozpatrywanej kraty, dochodząc w ten sposób do liczby r równań liniowych względem wielkości Ψ i Θ .

Ponieważ dla kraty o liczbie w węzłów i o liczbie r prętów ogólna liczba niewiadomych wielkości Ψ i Θ wynosi

$$/3.18/ \quad t = w + r$$

więc równania /3.17/ uzupełniamy drogą ułożenia w równan równowagi momentów sił działających na poszczególne węzły kraty /rys. 3.3/.

Równanie równowagi momentów sił działających na pewien węzeł "i" możemy napisać w postaci następującej:

$$/3.19/ \quad \sum_1^m M_{ij} = 0,$$

gdzie litera m nad symbolem sumy oznacza liczbę wszystkich prętów "ij" łączących się w węzle "i".

Przechodząc do przedstawienia wchodzących w równania /3.14/ i /3.19/ wielkości statycznych N_{ij} , M_{ij} w zależności od wielkości geometrycznych, którymi w danym razie są kąty ψ i θ bierzemy przede wszystkim pod uwagę stan równowagi oraz odkształcenia i przemieszczenia pewnego pręta "ij" po odkształceniu się kraty /rys. 3.2/. W danym razie mamy do dyspozycji wzory /3.9/ i /3.11/. Natomiast drogą ułożenia równan równowagi rzutów sił działających na poszczególne węzły układu, dochodzimy do odpowiednich wzorów dla sił podłużnych panujących w poszczególnych prętach kraty. I tak np. dla węzła "i" /rys. 3.2 oraz rys. 3.3/ możemy tutaj napisać w postaci ogólnej, że

$$/3.20/ \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_1^m X_i = P_i^x + N_{i,j-1}^x + N_{i,j}^x + N_{i,j+1}^x + \dots + \\ \quad + T_{i,j-1}^x + T_{i,j}^x + T_{i,j+1}^x + \dots = 0, \\ \\ \sum_1^m Y_i = P_i^y + N_{i,j-1}^y + N_{i,j}^y + N_{i,j+1}^y + \dots + \\ \quad + T_{i,j-1}^y + T_{i,j}^y + T_{i,j+1}^y + \dots = 0. \end{array} \right.$$

Uwzględniając kolejno wszystkie węzły kraty dochodzimy do pewnego układu równań liniowych, którego rozwiązanie doprowadza do wzorów określających siły podłużne $N_{i,j-1}, N_{i,j}, \dots$ we wszystkich prętach kraty. W wyniku tego możemy przy odpowiednim uwzględnieniu wzorów /3.9/ i /3.11/ określić wymienione siły podłużne w zależności od odnośnych kątów ψ i Θ . W ten sposób dochodzimy do wzorów, które ogólnie mogą być przedstawione pod postacią wzoru /3.15/.

Tak więc wszystkię przywęzłowe siły wewnętrzne /M, T, N/ rozpatrywanego układu kratowego wyrazamy w zależności do kątów ψ i Θ .

Obecnie pozostaje już tylko ułożenie równań /3.14/ dla poszczególnych prętów kraty i równań /3.19/ dla poszczególnych węzłów.

W wyniku tych operacji dochodzimy do wymienionego wyżej układu t równań wiążących ze sobą liniowo wszystkie wielkości ψ i Θ w rozpatrywanej kratownicy o węzłach sztywnych.

Rozwiązanie tego układu równań /względem ψ i Θ / umożliwia na podstawie wzorów transformacyjnych /3.9/ oraz wzorów /3.11/ określenie odnośnych wartości przywęzłowych momentów zginających i sił poprzecznych panujących w prętach kraty. Siły podłużne wyznaczamy na podstawie odpowiednich wzorów ustalonych drogą rozwiązania równań równowagi węzłów /3.20/.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że uniknięcie stosunkowo dość uciążliwego procesu układania równań /3.14/ przez wprowadzenie w ich miejsce równań równowagi pewnych odciętych lub wyciętych części

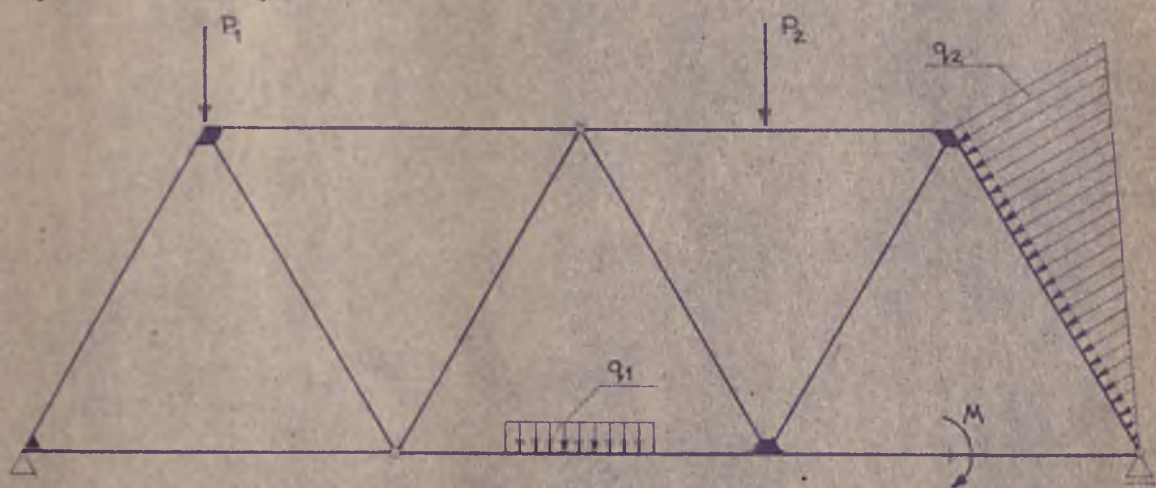
kratownicy, tak jak to ma miejsce przy obliczaniu bezprzekątniowych ram sposobem Mohra, jest tutaj niemożliwe, ponieważ ze względu na konieczność uprzedniego wykorzystania wszystkich równań równowagi prętów /równania 3.11/ oraz równań równowagi węzłów /równania /3.19/, /3.20/, tego rodzaju równania równowagi zespołowych fragmentów kraty spełnione są tożsamościowo.

Oprócz tego kilka słów należy poświęcić sprawie ewentualnego pomijania sprężystych zmian długości prętów / Δl / przy obliczaniu kraty o węzłach sztywnych - podobnie jak to się zwykle dzieje przy obliczaniu bezprzekątniowych ram. Otóż ze względu na geometryczny charakter rozpatrywanego schematu przekątniowego pominięcie, przy jego obliczaniu, zmian długości prętów kraty pociąga za sobą - jak to zresztą wynika z równania / 3.14/ - znikanie kątów obrotu Θ cięciw wszystkich prętów. W tej sytuacji rozwiązanie układu sztywnowęzłowego obciążonego tylko w węzłach, sprowadziłoby się do rozwiązania zwykłego układu przegubowego obciążonego w przegubach, gdyż przy wyłącznie zerowych wartościach wszystkich wielkości Θ możliwe jest istnienie także tylko zerowych wartości wszystkich wielkości Ψ /kątów obrotu węzłów/. Fakt ten wynika bezpośrednio stąd, że w tym przypadku z układu wymienionych wyżej równań /3.14/ i /3.19/ odpadają równania /3.14/, pozostające zaś równania /3.19/ stanowią już układ równań liniowych, jednorodnych względem wielkości Ψ , którego wyznacznik charakterystyczny nie może z natury rzeczy być równy zeru. W takim razie ten pozostały układ równań może mieć tylko rozwiązanie zerowe / $\Psi = 0$ /. Wobec tego, jak wynika ze

wzorów /3.9/, /3.11/ oraz z równań /3.20/, zarówno momenty zginające jak i siły poprzeczne są w danym razie równo zero, siły podłużne zaś otrzymują wartości identyczne, jak w przypadku odpowiedniego układu przegubowego.

Nawiasem warto tutaj jeszcze zaznaczyć, że ostatni wniosek odnosi się odpowiednio także i do układów bezprzekątniowych, węzłowo obciążonych, które przy przegubowym obciążeniu prętów zachowują geometryczną niezmienną bezwzględną.

Na zakończenie trzeba stwierdzić, że opisany w tym rozdziale nowy sposób rozwiązania układów przekątniowych może być podobnie jak i inne podane tu sposoby bez trudności rozszerzony i uogólniony na przypadki układów kratowych o mieszanych połączeniach prętów /węzły sztywne i węzły przegubowe/; /rys. 3.4/ i o niestałych sztywnościach prętów - / $EA_{ij} \neq \text{const}$, $EJ_{ij} \neq \text{const}$ /.



Rys. 3.4.

3.3. Obliczenie dźwigara głównego kratowego badanej zasuwki płaskiej z uwzględnieniem sztywności węzłów.

W niniejszym rozdziale obliczono dźwigar główny, którego schemat konstrukcyjny pokazany jest na rys. 2.7. Do obliczenia sposobem przemieszczeń kątowych przyjęto, dla porównania wyników, schemat statyczny dźwigara kratowego taki sam jaki przyjęto do obliczeń statycznych dla dźwigara zrealizowanego. Schemat ten pokazany jest na rys. 2.3.

Obliczenie przeprowadzono opierając się na wzorach podanych w p. 3.2 niniejszego rozdziału.

Mając na uwadze wzory 3.20 ułożono równania równowagi dla poszczególnych węzłów kraty. Otrzymano w ten sposób układ równań, z którego określono wartości sił podłużnych w funkcji kątów obrotu węzłów i kątów obrotu prętów kraty, przedstawiając uprzednio siły poprzeczne i momenty węzłowe w postaci określonej wzorami 3.9 i 3.11.

Z kolei, biorąc pod uwagę wzór 3.14 lub jego uogólnienie postaci 3.17 ułożono dla poszczególnych prętów kraty równanie określające odnośną zależność między odkształceniami kątowymi rozpatrywanego układu. Uwzględniając symetrię układu i jego obciążenia wprowadzono do wzoru 3.14 uprzednio obliczone wielkości sił podłużnych w funkcji kątów obrotu φ i θ .

Następnie uwzględniając równanie 3.19 i wykorzystując symetrię układu, ułożono to równanie dla poszczególnych węzłów kraty.

Zgodnie z podanym w p. 3.2 schematem rozwiązania zestawiono otrzymane na podstawie wzorów 3.14 i 3.19 równania, otrzymując układ dwudziestu czterech równań 3.21, podanych na stronach następnych.

W wyniku rozwiązania układu równań 3.21 - przy zastosowaniu maszyny matematycznej UMC-1 - otrzymano kąty obrotu węzłów i kąty obrotu prętów rozpatrywanej kraty. Wyniki te zestawiono w tablicach 3.1 i 3.2.

3.21

$$\begin{aligned} 1. & 153,7 \psi_0 + 2,2 \psi_1 + 91,4 \psi_2 + 73,2 \psi_3 - 6,6 \Theta_{01} + \\ & + 219,6 \Theta_{03} - 435,5 \Theta_{02} = 0 \\ 2. & 2,2 \psi_0 + 297,6 \psi_1 + 146,6 \psi_3 - 6,6 \Theta_{01} - 439,8 \Theta_{13} - \\ & - 0,1 = 0 \\ 3. & 91,4 \psi_0 - 88,6 \psi_2 - 1,4 \psi_3 - 45,7 \psi_4 - 170,2 \Theta_{02} + \\ & + 178,8 \Theta_{23} + 137,1 \Theta_{24} = 0 \\ 4. & 73,2 \psi_0 + 146,6 \psi_1 + 1,4 \psi_2 + 373,0 \psi_3 + 38,6 \psi_4 - \\ & - 73,3 \psi_5 - 439,8 \Theta_{13} - 219,6 \Theta_{03} - 4,2 \Theta_{23} - \\ & - 115,8 \Theta_{34} + 219,3 \Theta_{35} - 0,2 = 0 \\ 5. & 45,7 \psi_2 - 38,6 \psi_3 - 182,8 \psi_4 - 31,0 \psi_5 - 84,1 \psi_6 - \\ & - 12,9 \psi_7 - 137,1 \Theta_{24} + 115,8 \Theta_{34} + 4,5 \Theta_{45} + 38,7 \Theta_{47} + \\ & + 252,3 \Theta_{46} = 0 \\ 6. & 73,3 \psi_3 + 1,5 \psi_4 + 3,0 \psi_5 - 73,3 \psi_7 - 219,9 \Theta_{35} - \\ & - 4,5 \Theta_{45} + 219,9 \Theta_{57} + 0,2 = 0 \\ 7. & 84,1 \psi_4 - 2,8 \psi_6 - 1,4 \psi_7 - 119,9 \Theta_{46} + 4,2 \Theta_{67} + \\ & + 252,3 \Theta_{68} = 0 \end{aligned}$$

$$8. 12,9 \psi_4 + 73,3 \psi_5 + 1,4 \psi_6 - 10,2 \psi_7 - 219,9 \Theta_{57} - \\ - 38,7 \Theta_{47} - 4,2 \Theta_{67} - 4,8 \Theta_{78} + 282,9 \Theta_{79} + 0,1 = 0$$

$$9. 0,02459 \psi_0 + 0,74951 \psi_1 + 0,00506 \psi_2 + 0,21540 \psi_3 + \\ + 0,30069 \psi_4 - 0,19004 \psi_5 - 0,33012 \psi_6 + 0,00325 \psi_7 + \\ + 0,36314 \Theta_{01} - 0,44006 \Theta_{02} + 0,31089 \Theta_{03} - 0,55073 \Theta_{13} + \\ + 0,02160 \Theta_{23} - 0,00972 \Theta_{24} + 0,38019 \Theta_{34} + 0,00635 \Theta_{35} + \\ + 0,20061 \Theta_{45} - 0,32006 \Theta_{46} + 0,03604 \Theta_{47} - 0,00224 \Theta_{57} + \\ + 0,060002 \Theta_{67} - 0,00700 \Theta_{68} + 0,30010 \Theta_{78} - 0,00051 \Theta_{79} - \\ - 0,00272 = 0$$

$$10. 0,10809 \psi_0 - 0,41328 \psi_1 + 0,00762 \psi_2 - 0,08310 \psi_3 + 0,00437 \psi_4 - \\ - 0,03005 \psi_5 + 0,02103 \psi_6 - 0,08051 \psi_7 + 0,10096 \Theta_{01} - \\ - 0,00813 \Theta_{02} + 0,10033 \Theta_{03} - 0,35628 \Theta_{13} + 0,02008 \Theta_{23} - \\ - 0,00471 \Theta_{24} + 0,00628 \Theta_{34} + 0,00066 \Theta_{35} + 0,00206 \Theta_{45} - \\ - 0,31061 \Theta_{46} + 0,04021 \Theta_{47} - 0,00910 \Theta_{57} + 0,00302 \Theta_{67} - \\ - 0,10030 \Theta_{68} + 0,00003 \Theta_{78} - 0,01075 \Theta_{79} + 0,00259 = 0$$

$$11. 0,00859 \psi_0 + 0,41508 \psi_1 + 0,00809 \psi_2 + 0,00542 \psi_3 + 0,03304 \psi_4 + \\ + 0,00510 \psi_5 + 0,00907 \psi_6 + 0,00044 \psi_7 + 0,01507 \Theta_{01} + \\ + 0,22048 \Theta_{02} + 0,00416 \Theta_{03} + 0,12293 \Theta_{13} - 0,00007 \Theta_{23} - \\ - 0,00216 \Theta_{24} - 0,00271 \Theta_{34} + 0,01007 \Theta_{35} - 0,00025 \Theta_{45} - \\ - 0,03201 \Theta_{46} - 0,02005 \Theta_{47} - 0,00601 \Theta_{57} - 0,21063 \Theta_{67} - \\ - 1,21161 \Theta_{68} + 0,01005 \Theta_{78} - 0,00002 \Theta_{79} - 0,00203 = 0$$

3.21

$$\begin{aligned} 12. & 0,02001\psi_0 + 0,04127\psi_1 - 0,00082\psi_2 - 0,00163\psi_3 + 0,00033\psi_4 + \\ & + 0,00012\psi_5 - 0,00470\psi_6 - 0,00682\psi_7 + 0,00250 \Theta_{01} + \\ & + 0,00010 \Theta_{02} - 0,00012 \Theta_{03} - 0,00132 \Theta_{13} + 0,00001 \Theta_{23} + \\ & + 0,00051 \Theta_{24} - 0,00054 \Theta_{34} + 0,00010 \Theta_{35} + 0,00002 \Theta_{45} + \\ & + 0,00027 \Theta_{46} - 0,00200 \Theta_{47} - 0,10021 \Theta_{57} + 0,01000 \Theta_{67} + \\ & + 0,0211 \Theta_{68} + 0,00017 \Theta_{78} - 0,02303 \Theta_{79} + 0,00001 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 13. & 0,38675\psi_0 + 0,49251\psi_1 + 0,06600\psi_2 + 0,34826\psi_3 + 0,04107\psi_4 + \\ & + 0,02510\psi_5 + 0,02443\psi_6 + 0,02634\psi_7 + 1,45712 \Theta_{01} - \\ & - 0,00924 \Theta_{02} - 0,21826 \Theta_{03} - 0,51396 \Theta_{13} - 0,00287 \Theta_{23} - \\ & - 0,02852 \Theta_{24} - 0,92929 \Theta_{34} + 0,06417 \Theta_{35} + 0,00078 \Theta_{45} + \\ & + 0,03740 \Theta_{46} + 0,00547 \Theta_{47} + 0,03630 \Theta_{57} + 0,00087 \Theta_{67} + \\ & + 0,00097 \Theta_{68} + 0,00006 \Theta_{78} - 0,00288 \Theta_{79} + 0,00336 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.21 \left\{ \begin{aligned} 14. & 0,77212\psi_0 + 0,23113\psi_1 + 0,19150\psi_2 + 0,79402\psi_3 + \\ & + 0,500030\psi_4 - 0,90410\psi_5 - 0,23310\psi_6 - 0,32510\psi_7 + \\ & + 0,53942 \Theta_{01} - 0,89190 \Theta_{02} + 0,52480 \Theta_{03} + 0,63953 \Theta_{13} + \\ & + 1,62001 \Theta_{23} + 0,95010 \Theta_{24} + 0,81810 \Theta_{34} + 0,60305 \Theta_{35} - \\ & - 0,20006 \Theta_{45} - 0,03620 \Theta_{46} - 0,60034 \Theta_{47} - 0,02420 \Theta_{57} + \\ & + 0,60002 \Theta_{67} + 0,10005 \Theta_{68} + 0,10004 \Theta_{78} + 0,70051 \Theta_{79} - \\ & - 0,00932 = 0 \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 15. & 0,07060 \varphi_0 - 0,10708 \varphi_1 + 0,02030 \varphi_2 - 0,10201 \varphi_3 + \\ & + 0,03010 \varphi_4 + 0,01050 \varphi_5 + 0,10303 \varphi_6 - 0,10052 \varphi_7 + \\ & + 0,09006 \Theta_{01} - 0,03001 \Theta_{02} + 0,03506 \Theta_{03} - 0,20502 \Theta_{13} + \\ & + 0,04050 \Theta_{23} - 0,10504 \Theta_{24} + 0,10601 \Theta_{34} + 0,50504 \Theta_{35} + \\ & + 1,00102 \Theta_{45} - 0,02063 \Theta_{46} + 0,40306 \Theta_{47} - 0,20402 \Theta_{57} + \\ & + 0,02060 \Theta_{67} - 0,05001 \Theta_{68} + 0,00402 \Theta_{78} - 0,00501 \Theta_{79} + \\ & + 0,00039 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 16. & 0,07562 \varphi_0 - 0,01248 \varphi_1 - 0,09061 \varphi_2 - 0,08855 \varphi_3 - \\ & - 0,06751 \varphi_4 - 0,00963 \varphi_5 - 0,00481 \varphi_6 - 0,00493 \varphi_7 - \\ & - 0,06242 \Theta_{01} + 0,04480 \Theta_{02} + 0,04411 \Theta_{03} + 0,14218 \Theta_{13} + \\ & + 0,00011 \Theta_{23} + 0,00274 \Theta_{24} + 0,00670 \Theta_{34} - 0,06832 \Theta_{35} + \\ & + 0,00092 \Theta_{45} - 0,06731 \Theta_{46} - 0,00524 \Theta_{47} - 0,04413 \Theta_{57} - \\ & - 1,00062 \Theta_{67} - 0,00019 \Theta_{68} + 0,00050 \Theta_{78} + 0,00516 \Theta_{79} + \\ & + 0,00107 = 0 \end{aligned}$$

3.21 *

$$\begin{aligned} 17. & 0,35469 \varphi_0 + 0,28974 \varphi_1 + 0,04876 \varphi_2 + 0,33357 \varphi_3 - \\ & - 0,02187 \varphi_4 - 0,02310 \varphi_5 - 0,02241 \varphi_6 - 0,02434 \varphi_7 + \\ & + 0,22625 \Theta_{01} + 0,21112 \Theta_{02} + 1,01750 \Theta_{03} + 0,32972 \Theta_{13} + \\ & + 0,00217 \Theta_{23} - 0,02152 \Theta_{24} - 0,02727 \Theta_{34} - \\ & - 0,04497 \Theta_{35} - 0,00051 \Theta_{45} - 0,03549 \Theta_{46} - 0,00345 \Theta_{47} - \\ & - 0,03330 \Theta_{57} - 0,00035 \Theta_{67} - 0,00007 \Theta_{68} - 0,00002 \Theta_{78} - \\ & - 0,00066 \Theta_{79} - 0,00746 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 18. & 0,07421\varphi_0 - 0,08450\varphi_1 + 0,03835\varphi_2 - 0,24528\varphi_3 + \\ & + 0,02457\varphi_4 + 0,02181\varphi_5 + 0,00221\varphi_6 + 0,00412\varphi_7 + \\ & + 0,21208 \Theta_{01} + 0,02353 \Theta_{02} + 0,04557 \Theta_{03} - 0,14855 \Theta_{13} + \\ & + 0,00042 \Theta_{23} + 0,03000 \Theta_{24} + 1,03001 \Theta_{34} + 0,03597 \Theta_{35} + \\ & + 0,00051 \Theta_{45} + 0,03740 \Theta_{46} + 0,00325 \Theta_{47} + 0,03510 \Theta_{57} + \\ & + 0,00013 \Theta_{67} + 0,00070 \Theta_{68} + 0,00105 \Theta_{78} + 0,00246 \Theta_{79} - \\ & - 0,00186 = 0 \end{aligned}$$

3,21

$$\begin{aligned} 19. & 0,21632\varphi_0 + 0,67328\varphi_1 + 0,31026\varphi_2 + 0,07002\varphi_3 + \\ & + 0,00028\varphi_4 - 0,06320\varphi_5 + 0,07653\varphi_6 + 0,00320\varphi_7 + \\ & + 0,08632 \Theta_{01} + 0,02632 \Theta_{02} + 0,00021 \Theta_{03} - 0,01002 \Theta_{13} + \\ & + 0,08260 \Theta_{23} + 0,21003 \Theta_{24} - 1,00601 \Theta_{34} + 0,21013 \Theta_{35} - \\ & - 0,01006 \Theta_{45} + 0,07001 \Theta_{46} - 0,00011 \Theta_{47} + 0,28003 \Theta_{57} - \\ & - 0,00017 \Theta_{67} - 0,00108 \Theta_{68} - 0,72001 \Theta_{78} - 0,21006 \Theta_{79} - \\ & - 0,00306 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 20. & 0,63920\varphi_0 + 0,72002\varphi_1 + 0,26061\varphi_2 + 0,31031\varphi_3 - \\ & - 0,11021\varphi_4 + 0,82001\varphi_5 - 0,12421\varphi_6 - 0,83006\varphi_7 + \\ & + 1,02303 \Theta_{01} + 0,00082 \Theta_{02} - 0,01006 \Theta_{03} + 0,11803 \Theta_{13} - \\ & - 0,26138 \Theta_{23} + 0,71001 \Theta_{24} - 0,36008 \Theta_{34} + 0,32006 \Theta_{35} - \\ & - 0,00801 \Theta_{45} - 0,00107 \Theta_{46} + 0,00302 \Theta_{47} - 0,12531 \Theta_{57} + \\ & + 0,31005 \Theta_{67} - 0,28123 \Theta_{68} - 0,13821 \Theta_{78} - 0,11612 \Theta_{79} - \\ & - 0,00939 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 21. & 0,08621\varphi_0 + 0,00072\varphi_1 + 0,02111\varphi_2 + 0,12851\varphi_3 + \\ & + 0,13245\varphi_4 + 1,21362\varphi_5 + 0,00231\varphi_6 + 0,08631\varphi_7 - \\ & - 0,32435 \Theta_{01} - 0,000025 \Theta_{02} - 0,26300 \Theta_{03} - 0,12354 \Theta_{13} - \\ & - 0,00036 \Theta_{23} - 0,18236 \Theta_{24} - 0,10308 \Theta_{34} - 0,00602 \Theta_{35} - \\ & - 0,00830 \Theta_{45} - 0,32308 \Theta_{46} - 0,06001 \Theta_{47} + \\ & + 0,00126 \Theta_{57} + 0,08001 \Theta_{67} + 0,00307 \Theta_{68} + 0,00445 \Theta_{78} - \\ & - 0,00017 \Theta_{79} - 0,00142 = 0 \end{aligned}$$

3.21

$$\begin{aligned} 22. & 0,08360\varphi_0 - 0,18203\varphi_1 - 0,00609\varphi_2 + 0,02326\varphi_3 - \\ & - 0,92193\varphi_4 - 0,18106\varphi_5 + 0,23708\varphi_6 - 0,16321\varphi_7 - \\ & - 0,00029 \Theta_{01} + 0,02006 \Theta_{02} - 0,03030 \Theta_{03} + 0,42507 \Theta_{13} - \\ & - 0,00832 \Theta_{23} + 0,18131 \Theta_{24} - 0,28028 \Theta_{34} - 1,00030 \Theta_{35} + \\ & + 0,00239 \Theta_{45} - 1,28701 \Theta_{46} + 0,00076 \Theta_{47} - 0,00205 \Theta_{57} + \\ & + 0,10023 \Theta_{67} + 0,00111 \Theta_{68} + 0,02008 \Theta_{78} - 0,17862 \Theta_{79} + \\ & + 0,00880 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 23. & 0,00758\varphi_0 - 0,17263\varphi_1 + 0,01762\varphi_2 + 0,00051\varphi_3 - \\ & - 0,20098\varphi_4 - 0,00059\varphi_5 + 0,01523\varphi_6 - 0,28885\varphi_7 - \\ & - 0,16235 \Theta_{01} + 1,23500 \Theta_{02} - 0,26836 \Theta_{03} + 0,03158 \Theta_{13} - \\ & - 0,01635 \Theta_{23} + 0,02303 \Theta_{24} - 0,13427 \Theta_{34} - 1,28046 \Theta_{35} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - 0,02671 \Theta_{45} - 0,00163 \Theta_{46} + 0,00028 \Theta_{47} - 0,12851 \Theta_{57} + \\ & + 0,00831 \Theta_{67} - 0,16300 \Theta_{68} - 0,00011 \Theta_{78} + 0,16236 \Theta_{79} + \\ & + 0,00239 = 0 \end{aligned}$$

3.21 { 24. $0,03431 \Psi_0 + 0,12610 \Psi_1 - 0,28632 \Psi_2 + 0,12503 \Psi_3 - 0,13200 \Psi_4 +$
 $+ 0,00025 \Psi_5 - 0,10102 \Psi_6 - 0,17305 \Psi_7 - 0,02003 \Theta_{01} -$
 $- 0,00026 \Theta_{02} - 0,13001 \Theta_{03} + 0,03002 \Theta_{13} - 0,15301 \Theta_{23} -$
 $- 0,00305 \Theta_{24} - 0,06002 \Theta_{34} - 0,26003 \Theta_{35} + 0,12801 \Theta_{45} -$
 $- 0,00012 \Theta_{46} + 0,21210 \Theta_{47} - 0,26301 \Theta_{57} + 0,21006 \Theta_{67} -$
 $- 0,20016 \Theta_{68} - 0,18005 \Theta_{78} - 0,21003 \Theta_{79} + 0,00239 = 0$

Tablica 3.1.

Nr węzła	Kąt obrotu φ
1	2
0	0,003362
1	0,003076
2	0,003588
3	0,002995
4	0,002726
5	0,002883
6	0,000983
7	0,001069
8	0,000000
9	0,000000

Tablica 3.2.

Nr wzła	Nr pręta	Kąt obrotu \ominus
1	2	3
0	0 - 1	0,002298
	0 - 3	0,002782
	0 - 2	0,003827
1	1 - 0	0,002298
	1 - 3	0,003062
2	2 - 0	0,003827
	2 - 3	0,002350
	2 - 4	0,002703
3	3 - 1	0,003062
	3 - 0	0,002782
	3 - 2	0,002350
	3 - 4	0,002611
	3 - 5	0,003385
4	4 - 2	0,002703
	4 - 3	0,002611
	4 - 5	0,001701
	4 - 7	0,001660
	4 - 6	0,002505
5	5 - 3	0,003385
	5 - 4	0,001701
	5 - 7	0,001837
6	6 - 4	0,002505
	6 - 7	0,000883
	6 - 8	0,000284
7	7 - 5	0,001837
	7 - 4	0,001661
	7 - 6	0,000883
	7 - 8	0,000315
	7 - 9	0,000589
8	8 - 6	0,000284
	8 - 7	0,000315
	8 - 9	0,000000
9	9 - 7	0,000589
	9 - 8	0,000000

Tablica 3.4.

Część kraty	Pręt	F ² cm ²	N T	C _N KG/cm ²	M Tcm	C _M KG/cm ²	C _C KG/cm ²
	2	3	4	5	6	7	8
pas prosty	1-3	238,9	-0,36	-2	-24,01	-24	-26
	3-1				-75,88	-75	-77
	3-5	238,9	-209,6	-963	-394,67	-400	-1363
	5-3				-429,15	-434	-1397
	5-7	238,9	-209,8	-963	+407,61	-188	-1131
	7-5				+150,85	-153	-1118
	7-9	285,3	-252,4	-965	+146,93	-50	-1015
	9-7				-276,45	-240	-1205
	pas zakręmany	0-2	153,6	+122,3	+796	-448,76	+290
2-0					-362,00	+230	+1026
2-4		153,6	+124,6	+810	+344,15	+405	+1215
4-2					+178,70	+210	+1020
4-6		244,8	+260,9	+1065	-381,47	+140	+1205
6-4					-997,13	+315	+1380
6-8		244,8	+262,0	+1070	+995,37	+313	+1383
8-6					-648,15	+288	+1358
pas p k l	0-1	38,4	-0,44	-13	+26,85	-544	-557
	1-0				+24,20	-491	-604
	2-3	23,0	+23,43	+980	+18,35	+514	+1494
	3-2				+14,86	+416	+1396
	4-5	30,2	-21,99	-1090	+20,37	-202	-1292
	5-4				+21,36	-214	-1304
6-7	26,2	+32,52	+1200	+2,27	+20	+1220	

c. d. Tablicy 3.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
skupki	7-6	31,9	-19,48	-630	+6,78	+22	+1222
	8-9				0,00	0	-1170
	9-8				0,00	0	-1170
krzywulce	0-3	153,6	-170,1	-1156	+442,12	-415	-1569
	3-0				+309,29	-289	-1445
	3-4	117,6	+124,8	+1060	+143,15	+134	+1194
	4-3				+99,54	+93	+1153
	4-7	74,8	-70,0	-1048	+83,49	-170	-1218
	7-4				-6,28	-13	-1061
	7-8	34,0	-11,1	-480	+8,02	-66	-546
	8-7				+0,83	-7	-487

Na tej podstawie obliczono wartości naprężeń w poszczególnych przekrojach prętów kraty. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 3.4.

3.4. Geodezyjne pomiary odkształceń dźwigara głównego.

Pomiary odkształceń dźwigara głównego zasuwy płaskiej wykonano w miesiącu maju przy temperaturze powietrza około 18°C i głębokości napełnienia koryta rzeki od strony wody dolnej 2,30 m. Pomiary wykonano niezależnie trzykrotnie z dokładnością ± 1 mm.

Dźwigar główny oznaczono od strony wody dolnej siedmioma punktami na pasie załamany w węzłach kraty. Punkty pomiarowe oznaczono cyframi rzymskimi od I - VII. Punkty II - VI obserwowane były przy pomocy teodolitów z dwóch końców założonej bazy, natomiast punkty I i VII z braku widoczności obserwowane były kątowno tylko z jednego stanowiska, a drugim elementem wyznaczającym był bezpośredni pomiar zmian odległości badanego punktu od stałego wskaźnika. Na filarach jazu sąsiadujących bezpośrednio z zasuwą, od strony wody dolnej założono dwa stanowiska instrumentów. Na filarach sąsiednich i przyczółkach założono siedem stanowisk kontrolujących położenie teodolitów w czasie wykonywania pomiarów. Do obserwacji kątowych zastosowano teodolity jednosekundowe Wild T2 i Freiburger. Dla zabezpieczenia teodolitów przed przesunięciem, końce nóg statywów były przytwierdzone do filarów jazu.

Pomiar zerowy odbywał się przy zasuwie nie obciążonej wodą. W tym celu od strony wody górnej założono belki zakładane, a następnie po opuszczeniu klapy i podniesieniu zasuwy wyrównano poziomy wody od strony

górną i dolną. Po zakończeniu pomiaru zerowego zasuwę obciążono przez wypełnienie wodą przestrzeni między belkami zakładanymi i zasuwą. W celu wyeliminowania wpływu sił tarcia zasuwę o próg jazu na odkształcenie, po pełnym obciążeniu wodą, zasuwę lekko unoszono i osadzano na progu.

W tych warunkach /przy pomiarze zerowym i pełnym obciążeniu/ wykonano pomiary kątowe siedmiu kierunków badanych i siedmiu nawijających, metodą kierunkową w trzech seriach. Odczytano również wskazania na taśmach dla punktów I i VII. Pomiary wykonano w kierunku poziomym i pionowym uzyskując przestrzenne przesunięcie pasa załamane go dźwigara zasuwę.

W tabelicy 3.5 podano wielkości przemieszczeń poziomych w mm punktów od I do VII wraz z ich średnimi błędami.

Z analizy wyników odkształceń poziomych punktów pasa załamane go dźwigara głównego wynika, że ugięcie w płaszczyźnie kraty wynosi średnio w środku jej rozpiętości 16,5 mm.

W tabelicy 3.6 podano w mm przesunięcia pionowe punktów pasa załamane go zasuwę mierzone od założonej bazy z tym, że przy poziomie zerowym zasuwę była umieszczona na łańcuchach około 50 mm nad progiem.

Pomiar przesunięcia pionowego może być obarczony błędem wynikającym z błędów pomiarów jak i nierównym obciążeniem łańcuchów podczas pomiaru zerowego. Z analizy wyników podanych w tabelicy 3.6

Tabla 3.5.

Próba	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5,1+0,35	12,0+0,24	16,6+0,24	16,4+0,25	15,7+0,25	11,5+0,26	6,6+0,35
2	4,1+0,35	12,1+0,30	16,2+0,28	16,3+0,28	16,0+0,28	12,0+0,30	4,8+0,35
3	4,5+0,35	12,9+0,33	16,7+0,30	16,9+0,31	16,3+0,31	11,9+0,33	4,8+0,35

Tabla 3.6.

Próba	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-83,8	-81,8	-80,4	-79,7	-79,1	-78,8	-79,1
2	-59,0	-57,2	-55,4	-54,4	-54,2	-53,0	-53,2
3	-57,1	-54,0	-50,0	-50,0	-50,0	-48,9	-50,4

można wyciągnąć wniosek, że ugięcie pionowe w środku pasa załamane go dźwigara głównego wynosi około 2 mm.

Analizując wyniki pomiarów odkształceń poziomych i pionowych można stwierdzić, że pomiary te potwierdzają w zasadzie przyjęty sposób obliczania zasuwy polegający na rozłożeniu jej na elementy obliczeniowe płaskie / t.zw. tarczownice/. Uwzględniając istnienie wody dolnej, teoretyczne ugięcie w środku dźwigara kratowego istniejącej zasuwy t.j. dźwigara, z którego odkształcenie było mierzone opisaną tu metodą, wyniosło 22,0 mm w założeniu, iż dźwigar ten zaprojektowany był jako kratownica o połączeniach przegubowych w węzłach.

Jak widać z porównania wartości odkształceń węzła środkowego pasa załamane go dźwigara głównego, otrzymanych w drodze obliczenia teoretycznego dla założonego przy projektowaniu dźwigara schematu statystycznego i w drodze precyzyjnych pomiarów geodezyjnych otrzymane wartości różnią się od siebie o około 25%.

Odkształcenie węzła środkowego kraty obliczonej jako krata sztywnowęzłowa z uwzględnieniem wody dolnej wynosi 19,2 mm, bliższe jest więc odkształceniu pomierzonemu / różnica około 13%/ . Porównanie tych odkształceń świadczy, że przyjmowanie w obliczeniach statystycznych schematu kraty sztywnowęzłowej jest bardziej prawidłowe.

3.5. Tensometryczne pomiary naprężeń w prętach dźwigara głównego zasuwy płaskiej.

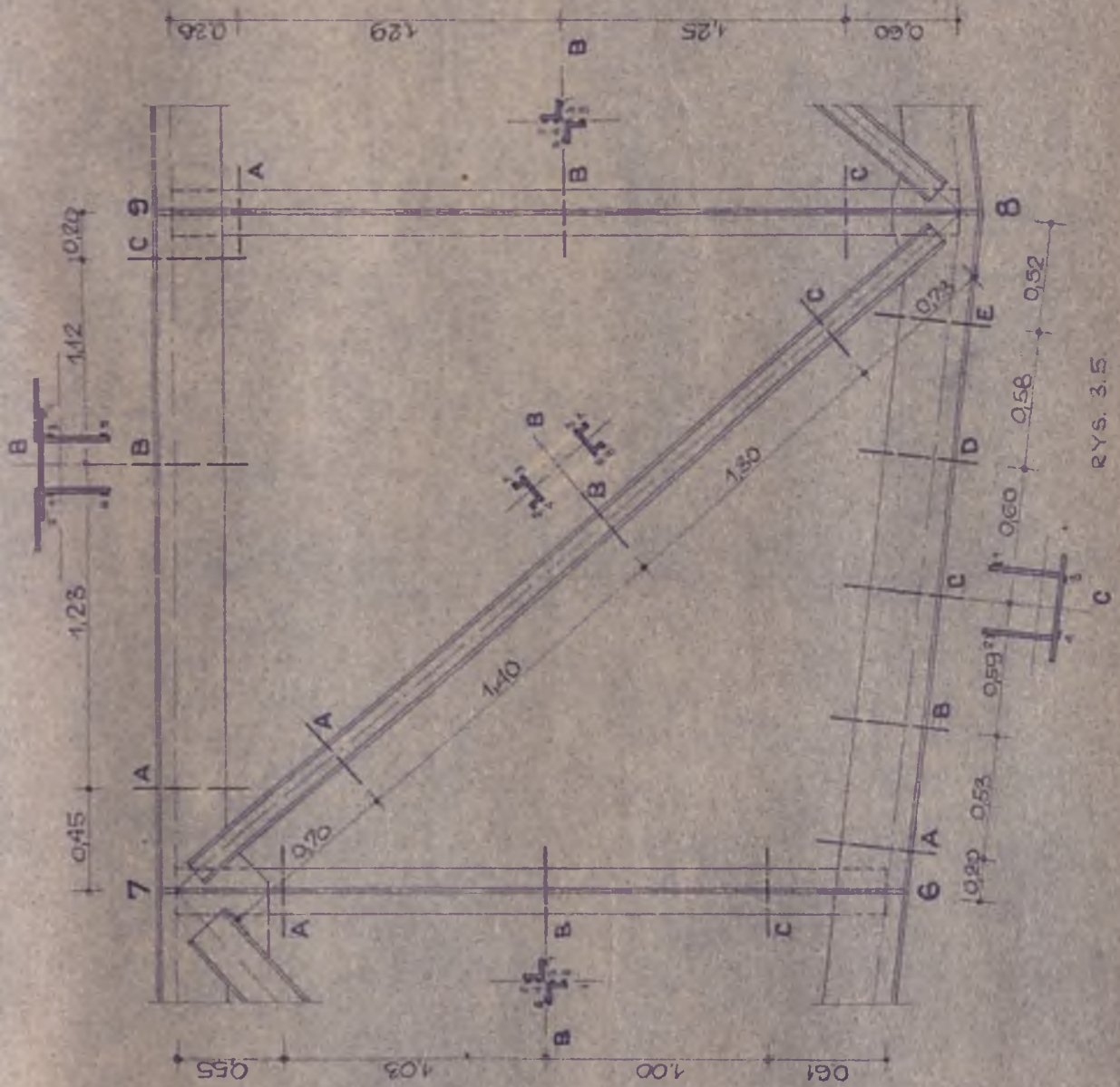
Pomiary tensometryczne naprężeń przeprowadzono w miesiącu czerwcu przy temperaturze powietrza około 22°C przy pogodzie słonecz-

nej. Tensometry oporowe założono w jednym środkowym przedziale górnego dźwigara głównego zasuwy płaskiej t. zn. objęto badaniem pięć prętów kraty. Do badań wyznaczono siedemnaście przekrojów w prętach kraty t. zn. w zasadzie przyjęto po trzy przekroje na jeden pręt, po jednym przekroju przy węzłach i jeden przekrój w środku rozpiętości pręta. Wyjątek stanowił pręt w pasie załamany, w którym zbadano dwa przekroje przy węzłach i trzy przekroje środkowe. Przekroje przywęzłowe znajdowały się w odległości od 0,20 m do 0,60 m od środka węzła. Rozmieszczenie badanych przekrojów w prętach kratownicy pokazano na rysunku 3.5.

W każdym z badanych przekrojów znajdowało się od czterech do ośmiu tensometrów umieszczonych w różnych punktach /rys. 3.5/.

Po zamknięciu belkami zakładanymi przęsła jazu, pierwszy pomiar wykonano przy stanie zerowym t. j. przy wyrównanych poziomach wody po obu stronach zasuwy. Następnie zasuwę obciążono, napętniając wodą przestrzeń między nią a belkami zakładanymi do najwyższego poziomu. Dla uniknięcia wpływu sił tarcia między zasuwą, a progiem uniesiono ją około 5 cm nad progiem / przy obciążeniu/, a następnie oparto na progu. W czasie pomiarów głębokość wody w korycie rzeki od strony powietrznej wynosiła średnio około 3,30 m.

Przy tym stanie obciążenia wykonano pomiar naprężeń we wszystkich punktach tensometrycznych. Do pomiarów użyto mostków tensometrycznych ZKTR-2.



rys. 3.5.

Zachowując ten sposób postępowania wykonano cztery serie pomiarów i na tej podstawie obliczono naprężenia w poszczególnych punktach i przekrojach prętów. Biorąc pod uwagę systematyczność i prawidłowość odczytów, staranne przygotowanie i zainstalowanie tensometrów, zgodność wzajemnego układu i wzajemnego powiązania wyników, wyniki pomiarów można uznać za prawidłowe.

W tablicy 3.7. zestawiono średnie naprężenia w przekrojach prętów z czterech serii pomiarów. Wyeliminowano przy tym pomiary niepewne, jeśli kolejne odczyty różniły się znacznie między sobą. W ten sposób wyeliminowano z rozważań 27 tensometrów na ogólną ilość 98 zainstalowanych.

3.6. Porównanie wyników otrzymanych na podstawie pomiarów w naturze z wynikami obliczeń teoretycznych.

Dotychczasowy sposób obliczenia dźwigarów głównych przekątniowych, nie uwzględniający jego rzeczywistych warunków konstrukcyjnych t.j. sztywności połączeń prętów w węzłach może mieć jedynie zastosowanie do elementów o niewielkim piętrzeniu i rozpiętości, gdzie przekroje prętów są niewielkie i przyjęcie schematu kraty przegubowej mieści się w granicach szacowanego błędu t.j. 8 - 10% wzrostu naprężeń z tytułu jej rzeczywistego przeszywnienia w węzłach. Jak wykazała tu przeprowadzona analiza, w oparciu o sposób przemieszczeń kątowych, naprężenia w prętach dźwigara głównego wywołane sztywnością połączeń prętów, przy stosowanych tu wymiarach kraty, znane w literaturze pod

Tablica 3.7.

Część kraty	Pręt	Przekrój	Nr tensometru	Napężenie KG/cm ²	Napężenie średnie w przekroju KG/cm ²
1	2	3	4	5	6
pas prosty	7-9	A	1	-398	-394
			2	-364	
			3	-426	
			4	-380	
			5	-352	
			6	-442	
		B	1	-370	-324
			2	-302	
			3	-322	
			4	-350	
			5	-255	
			6	-	
		C	1	-	-362
			2	-	
			3	-380	
			4	-321	
			5	-384	
			6	-365	
pas zatamany		A	1	+890	-906
			2	-	
			3	-929	
			4	-899	
		B	1	+1917	+915
			2	-	
			3	+913	
			4	-	

c.d. tablicy 3.7.

1	2	3	4	5	6
pas załamany	6-8	C	1	+859	+855
			2	+850	
			3	+871	
			4	+857	
	D	1	-	+886	
		2	+891		
		3	-		
		4	+880		
	E	1	+865	+870	
		2	-		
		3	+880		
		4	+865		
słupki	6-7	A	1	-	+830
			2	+821	
			3	-	
			4	+840	
			5	-	
			6	-	
	B	1	-	+815	
		2	-		
		3	+830		
		4	-		
		5	+868		
		6	+821		
C	1	-	+851		
	2	+805			
	3	+840			
	4	-			
	5	+905			
	6	+856			

c.d. tablicy 3.7.

1	2	3	4	5	6
stupki		A	1	-	
			2	-	
			3	-	
			4	-687	-681
			5	-718	
			6	-638	
		B	1	-675	
			2	-648	
			3	-616	
			4	-675	-647
			5	-666	
			6	-654	
		C	1	-630	
			2	-662	
			3	-650	
			4	-733	-674
			5	-724	
			6	-646	
krzyżulec	7-8	A	1	-	
			2	-354	
			3	-	
			4	-	
			5	-	
			6	-	-340
			7	-326	
			8	-	
		B	1	-344	
			2	-375	
			3	-314	
			4	-277	-342
			5	-396	
			6	-314	
			7	-307	
			8	-307	
		C	1	-340	
			2	-423	
			3	-440	
			4	-335	-320
			5	-	
			6	-283	
			7	-238	
			8	-331	

nazwą, naprężeń drugorzędnych, przekraczają w pojedynczych przypadkach nawet 400 kG/cm^2 i nie mogą być już pomijane w obliczeniach. Nawet nowa polska norma PN-64/B-3203 - konstrukcje stalowe w budownictwie wodnym śródlądowym, podając przybliżony sposób wyznaczania naprężeń drugorzędnych w pasach dźwigarów kratowych zasuw płaskich zakłada wielkość pominiętych naprężeń drugorzędnych do około 150 kG/cm^2 . Zatem w przypadku stosowania w zasuwach płaskich dźwigarów głównych przekątniowych należy przy ich obliczaniu przyjmować schemat statyczny uwzględniający warunki konstrukcyjne bliższe rzeczywistości. Wskazują na to również pomiary tensometryczne naprężeń wykonane dla przedziału środkowego kratownicy w naturalnych warunkach.

W tabelicy 3.8. zestawiono dla porównania wyników naprężenia w prętach przedziału środkowego dźwigara głównego obliczone dla kratownicy o węzłach przegubowych, dla kratownicy o węzłach sztywnych oraz naprężenia rzeczywiście panujące w tych prętach obliczone na podstawie pomiarów tensometrycznych. Ponieważ pomiary tensometryczne wykonano przy głębokości wody dolnej wynoszącej $3,30 \text{ m}$ obliczone na tej podstawie naprężenia / tablica 3.7/ zwiększono w tabelicy 3.8. o około 20% t.j. o różnicę między obciążeniem przyjętym do obliczeń teoretycznych kraty przegubowej i sztywno-węzłowej a obciążeniem rzeczywistym podczas wykonywania pomiarów.

Z porównania otrzymanych wyników można wyciągnąć wniosek, iż naprężenia rzeczywiste panujące w prętach układu odbiegają od wartości

Tablica 3.8.

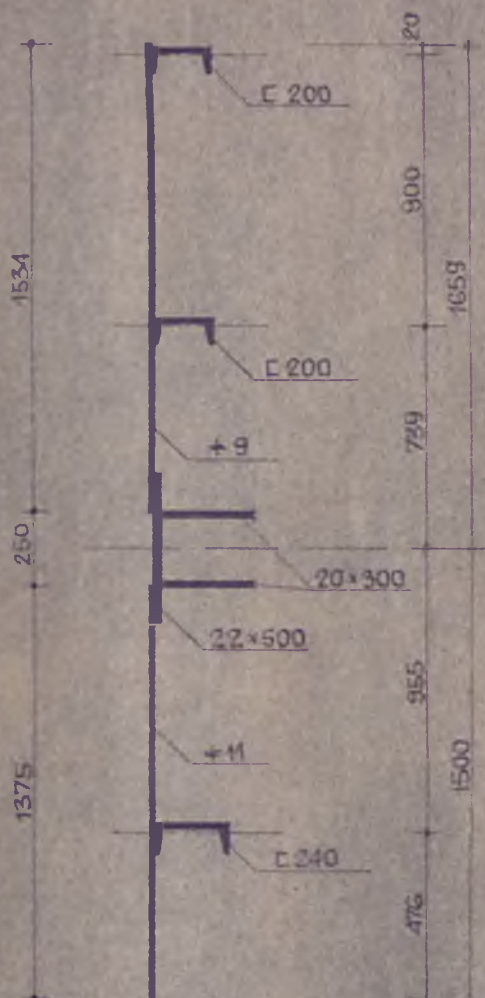
Część kraty	pręt	Napięcie maksymalne w kg/cm^2 obliczone:				z uwzględnieniem współpracy ściany piętrzącej
		wg schematu kraty przegibowej	wg schematu kraty o węzłach sztywnych	na podstawie pomiarów tensometrycznych	5	
1	2	3	4	5	6	
pas prosty	7-9	-921	-1015	-496	-498	
	9-7	-921	-1205	-525	-562	
pas załamy	6-8	+1030	+1383	+1260	-	
	8-6	+1030	+1358	+1210	-	
krzyżulec	7-8	-151	-546	-435	-	
	8-7	-151	-487	-396	-	
stępki	6-7	+1120	+1230	+1060	-	
	7-6	+1120	+1222	+1040	-	
	8-9	-1111	-1170	-845	-	
	9-8	-1111	-1170	-855	-	

Uwaga: W kolumnie 6 dla pasa prostego podano naprężenia panujące w pręcie 7-9 pasa prostego z uwzględnieniem współpracy ściany piętrzącej na podstawie tablic 3.9 i 3.10.

ci obliczonych teoretycznie dla schematu kraty przegubowej i są większe np. dla pręta pasa załamane go o około 230 kG/cm^2 , a dla kraty o schemacie kraty sztywno-węzłowej są one mniejsze o około 120 kG/cm^2 . Podobne wyniki otrzymano również i dla pozostałych prętów z wyjątkiem pręta 7-9 /pas prosty/, gdzie wyniki pomiarów odbiegają znacznie od obliczonych teoretycznie przy obu założeniach. Istniejące, mniejsze naprężenia w pręcie 7 - 9, a więc należy przewidywać, że i również w innych prętach pasu prostego, spowodowane są znacznie większą współpracą ściany piętrzącej z pasem prostym dźwigara kratowego aniżeli przyjęto to w obliczeniach statycznych.

Sprawdzenie obliczeniowe zakresu tej współpracy, /rys. 3.6, tablice 3.9 i 3.10/ prowadzi do wniosku, że należałoby uwzględniać w obliczeniach statycznych współpracę całej ściany piętrzącej. Obliczenie porównawcze przeprowadzono dla schematu kraty przegubowej przyjmując do obliczenia naprężen momenty od bezpośredniego parcia wody na pas prosty dźwigara głównego /tablica 3.9./ oraz dla schematu kraty sztywnowęzłowej przyjmując do obliczenia naprężen momenty węzłowe /tablica 3.10/

Istniejące naprężenia w prętach kraty są na ogół mniejsze niż wyznaczono to na podstawie ścisłego obliczenia kraty o węzłach sztywnych. Spowodowane jest to szerszą niż to w rzeczywistości uwzględniono, współpracą innych elementów zasuwy / np. kraty poprzeczne/.



Rys. 3.6

Tablica 3.9

Przekrój	M T _m	Napreżenia w kG/cm ²				
		P F	M W _A	M W _B	σ _A	σ _B
1	2	3	4	5	6	7
w węźle	-1,653	-405	+22	-93	-383	-498
w środku	+2,480	-440	-32	+139	-472	-301

Tablica 3.10.

Przekrój	M Tm	Naprężenia w kg/cm^2				
		$\frac{P}{F}$	$\frac{M}{W_A}$	$\frac{M}{W_B}$	σ_A	σ_B
1	2	3	4	5	6	7
7	+1,469	-412	-19	+82	-431	-330
9	-2,764	-412	+36	-150	-376	-562

Wyniki pomiarów bliskie w stosunku do obliczonych świadczą, że przyjmowanie sposobu obliczania kratownicy z rozbićm na elementy płaskie t.zw. tarczownice z uwzględnieniem sztywności połączeń w węzłach dźwigara przekątniowego oraz współpracy ściany piętrzącej jest dla praktyki wystarczające. Świadczą również o tym omówione w p. 3.4. odkształcenia węzłów pasa załamane go dźwigara głównego zasuwy płaskiej.

Norma PN-64/B-03203 zaleca dla określonego warunku sprawdzenie naprężeń z uwzględnieniem sztywności węzłów; ale tylko w pasach dźwigarów głównych. Z przeprowadzonych tu obliczeń / tablica 3.4/ wynika, że istotnie sztywność połączeń prętów-słupków kratownicy można pominąć. Jednakże pomijanie sztywności połączeń krzyżulców, szczególnie w przedziałach przypodporowych może prowadzić do poważnych błędów, gdyż jak wynika z obliczeń momenty przywęzłowe tych prętów są znaczne i mają istotny wpływ na wielkości naprężeń. Podane w normie wzory na obliczenie momentów węzłowych pasów dźwigarów kratowych idą w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa konstrukcji. Ścisłe wyznaczenie momentów wynikających ze sztywności połączeń jest słuszniejsze, gdyż prowadzi do rzeczywiście ekonomicznego projektowania konstrukcji.

4. Uwagi i wnioski końcowe. Propozycje do projektowania.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analizy wyników pomiarów w naturze można przedstawić następujące propozycje w sprawie projektowania dźwigarów głównych i innych elementów zasuwy płaskiej.

1. W świetle ilości zużywanego materiału, w obecnych warunkach wydaje się jedynie możliwe stosowanie w zasuwach płaskich dźwigarów głównych przekątniowych jako najłżejszych, przez to samo wpływających w sposób istotny na ciężar całej zasuwy, a zatem i ciężar mechanizmów wyciągowych oraz wymiary filarów i wymiary ich obudowy.
2. Stosowaną przy projektowaniu metodę podziału zasuwy płaskiej na elementy płaskie t.zw. tarczownice można uznać za uzasadnioną. Obliczenia tu przeprowadzone potwierdzają, iż to uproszczenie jest dla praktyki inżynierskiej celowe i nie podważa bezpieczeństwa konstrukcji.
3. Pomiary tensometryczne naprężeń wskazują na to, iż rzeczywiste naprężenie w prętach dźwigarów głównych zasuw płaskich mieszczą się w przedziale między naprężeniami obliczonymi w prętach kratownicy o połączeniach przegubowych w węzłach a naprężeniami obliczonymi w prętach kratownicy o połączeniach sztywnych w węzłach. Istniejące naprężenia są np. w pasach około 230 kg/cm^2 większe od naprężeń obliczonych dla kratownicy przegubowej oraz o około

120 kG/cm² mniejsze od naprężeń obliczonych dla kratownicy sztywno-węzłowej / tablica 3.8./ . Również naprężenia występujące w krzyżulcach kraty w wyniku uwzględnienia sztywności węzłów są wyższe /o około 200-300 kG/cm²/ aniżeli przy przyjęciu schematu kraty przegubowej. Świadczy to o tym, że pomijanie sztywności połączeń w węzłach krzyżulców, szczególnie w przedziałach przypodporowych, może prowadzić do poważnych błędów.

Stwierdzenia te wynikające z wyników pomiarów tensometrycznych w naturze i obliczeń teoretycznych prowadzą do wniosku, że pomijanie t.zw. naprężeń drugorzędnych w dźwigarach głównych przekątniowych zasuw płaskich ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji jest nieuzasadnione w przypadku projektowania poważnych budowli wodnych.

Można je pominąć w konstrukcjach budowli wodnych o znaczeniu drugorzędnym dla małych spiętrzeń i rozpiętości zasuw t.zn. konstrukcji, w których przekroje prętów są mało sztywne.

4. Stosowane uproszczone sposoby obliczenia momentów na skutek sztywności węzłów / zawężone zresztą jedynie do pasów dźwigarów kratowych z całkowitym pominięciem krzyżulców i słupków/ mogą prowadzić do znacznych błędów, a przez to samo nie zapewniają dostatecznego bezpieczeństwa konstrukcji. Zatem przy obliczaniu dźwigarów głównych przekątniowych należy uwzględniać sztywność połączeń w węzłach.

Uwzględnianie w obliczeniach statycznych dźwigarów przekątniowych sztywności węzłów / niezależnie od sposobu rozwiązania/ umożliwia przy ich obliczaniu rozwiązanie jednego schematu statycznego obejmującego wszyst-

kie obciążenia, bez potrzeby obliczania /w sposób przybliżony zresztą/ momentów węzłowych wynikających ze sztywności połączeń w węzłach, a niezależnie od tego traktowanie pasa prostego jako belki ciągłej obciążonej bezpośrednim parciem wody i wyznaczania z tego tytułu dodatkowych momentów podporowych /węzłowych/.

5. Porównując naprężenia w pręcie 7 - 9 pasa prostego kratownicy otrzymane na podstawie pomiarów tensometrycznych z naprężeniami obliczonymi teoretycznie / tablice 3.8, 3.9, 3.10/ dochodzi się do wniosku, że przyjęcie do współpracy pasa prostego tylko blachy opierającej w ograniczonej długości / 15 g z każdej strony/ jest nieuzasadnione. W tablicach 3.9. i 3.10. podano obliczenie naprężeń w pręcie 7 - 9 z uwzględnieniem pełnej współpracy ściany piętrzącej. Porównanie w ten sposób obliczonych naprężeń z naprężeniami pomierzonymi w naturze, prowadzi do wniosku, że przy projektowaniu pasów prostych / odwodnych/ dźwigarów głównych przekątniowych należy uwzględniać współpracę całej ściany piętrzącej przylegającej do danego dźwigara głównego.

Wynika z tego również wniosek dalszy, że przy obliczeniach statycznych niezależnie od podziału na elementy płaskie / t.zw. tarczownice/ należy przy projektowaniu uwzględniać współpracę całej ściany piętrzącej oraz sztywność połączeń w węzłach kratownicy.

6. Z logicznej analizy pracy innych elementów zasuwki płaskiej nasuwają się następujące uwagi:

- a/ belki poziome rusztu piętrzącego należy obliczać przyjmując tylko schemat belki ciągłej i wliczając do współpracy, w przekroju poprzecznym, blachę opierającą zgodnie z przyjętymi zasadami podanymi w PN-64/B-03203. Norma dopuszcza stosowanie również schematu belki swobodnie podpartej. Nie wydaje się to jednak słuszne w świetle analizy połączeń konstrukcji ściany piętrzącej tj. rzeczywistej sztywności połączeń belek poziomych ze słupami pionowymi i sztywności całej ściany piętrzącej.
- b/ obciążenie pionowe zasuwę tj. ciężar własny i ew. ciężar przelewającej się wody należy w obliczeniach uwzględnić w ten sposób, że siły te przenosi ściana piętrząca, gdyż jak wiadomo moment skręcający spowodowany mimośrodowym położeniem sił pionowych względem ściany piętrzącej stanowi parę sił zginającą dźwigary główne w ich płaszczyźnie, z tym, że powoduje to dodatkowe obciążenie dźwigara górnego, a odciążenie dolnego. Stosowany niekiedy sposób polegający na założeniu przekazywania się obciążeniu pionowym na kratę tylną jest nieuzasadniony.
- Krata ta spełnia jedynie rolę stężenia podłużnego i nie zawsze musi być stosowana. Natomiast kraty poprzeczne przekazujące obciążenia pionowe na ścianę piętrzącą należy przewidywać w węzłach kraty dźwigarów głównych, a zatem słupy pionowe rusztu piętrzącego, należy obliczać jako jednocześnie ściskane i zginane.

L I T E R A T U R A

- [1] . F. Engesser "Über die Durchbiegung von Fachwerkträgern und die hierbei auftretenden Zusatzlichen Spannungen", Zeitschrift für Baukunde - 1879 r.
- [2] . E. Winkler "Einfluss fester Verbindungen", Vorträge über Erdbeckenbau Z. II. 1881
- [3] . E. Monager "Les fatigues scelles et fatigues calculées dans un pont à Grandes amailles". Aunals des ponts et des chaussées 1899.
- [4] . J. Chmielowiec "Projektowanie przekrojów pasów kratownicy z uwzględnieniem naprężeń drugorzędnych". Przegląd techniczny 1927 r.
- [5] . O. Mohr "Technische Mechanik" Berlin 1928
- [6] . F. Szelaḡowski "Geometryczny sposób obliczania układów pręto- wych z węzłami sztywnymi". Archiwum Mechaniki Stosowanej t.II 1950 r.
- [7] . F. Bakdauf "Beitrag Zur Theorie ebener Fachwerke" Ingenieure Archiw. 1958.
- [8] . H. Czudek "Wyznaczanie naprężeń drugorzędnych kratownic mostowych o kształcie litery "W" bez wieszaków, obciążonych węzłowo i międzywęzłowo oraz kratownic mostowych o kształcie litery "W" z wieszakiem pionowym. Politechnika Warszawska, 1958

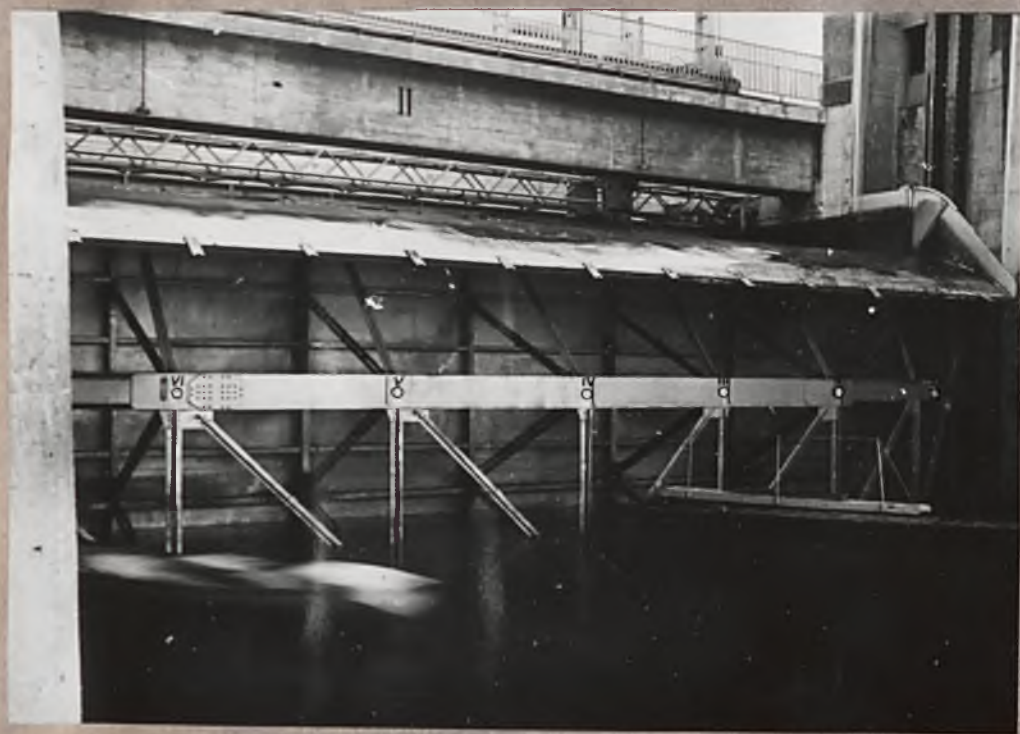
- [9] . Z. Boretti "Metoda obliczania dźwigarów bezprzekątniowych o pasach załamanych". Politechnika Warszawska, 1960.
- [10] . W. Nowacki "Mechanika budowli" Warszawa, 1957, 1960.
- [11] . F. Jastrzębski, R. Solecki, J. Szymkiewicz "Kratownice" 1959 r.
- Warszawa.
- [12] . E.A. Zamarin "Projektirowanyje gidrotechniczoskich sorużenji
- Moskwa 1952 r.
- [13] . A. Pszenicki "Mosty stalowe nitowane" Warszawa 1954 r.
- [14] . W. Poniż "Elementy Budownictwa Stalowego" Warszawa 1957.
- [15] . J. Bogucki "Tablice i wzory do projektowania konstrukcji stalowych" Warszawa 1953.
- [16] . N.M. Bielejew "Wytrzymałość materiałów" Warszawa 1957.
- [17] . N.S. Streleckij "Stalnyje Konstrukcji" Moskwa 1955.
- [18] . A. Gregor: "Der praktische stahlbau". Berechnung der statisch
bestinemeten Trag werke Berlin 1961 r.
- [19] . M.T. Huber "Stereomechanika Techniczna" Warszawa 1958.
- [20] . M.M. Griszin "Gidrotechniczeskije Sooruzenja" Moskwa 1957.
- [21] . Z. Zmigrodzki, K. Fanti, K. Fiedler, Z. Zielińska "Budowle piętżące" Arkady, 1957.
- [22] . "Polskie Normy".
- [23] . Prace archiwalne CBS i PBW "Hydroprojekt".

Z A Ł A C Z N I K

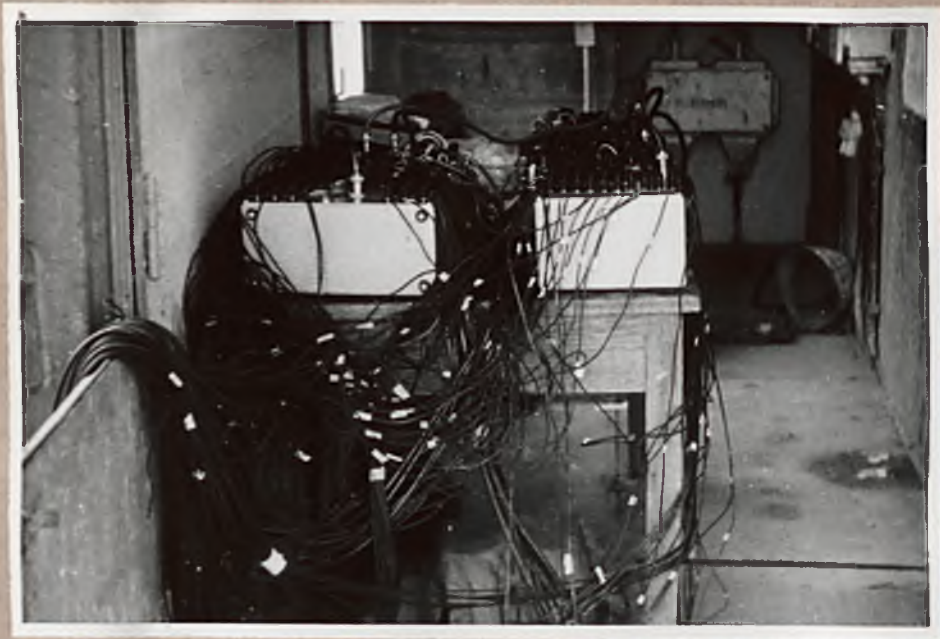
W niniejszym załączniku pokazano fotografie zasuwy płaskiej w naturze przedstawiające widok od strony wody dolnej / fot. 1 i fot.2/ z pokazaniem punktów pomiarowych geodezyjnych I - VII. Punkty I - VII były zaznaczone w węzłach pasa załamanego dźwigara górnego zasuwy. Na zdjęciach dalszych pokazano aparaturę do pomiarów tensometrycznych naprężeń oraz fotografie poszczególnych punktów i przekrojów, w których były umieszczone tensometry oporowe.



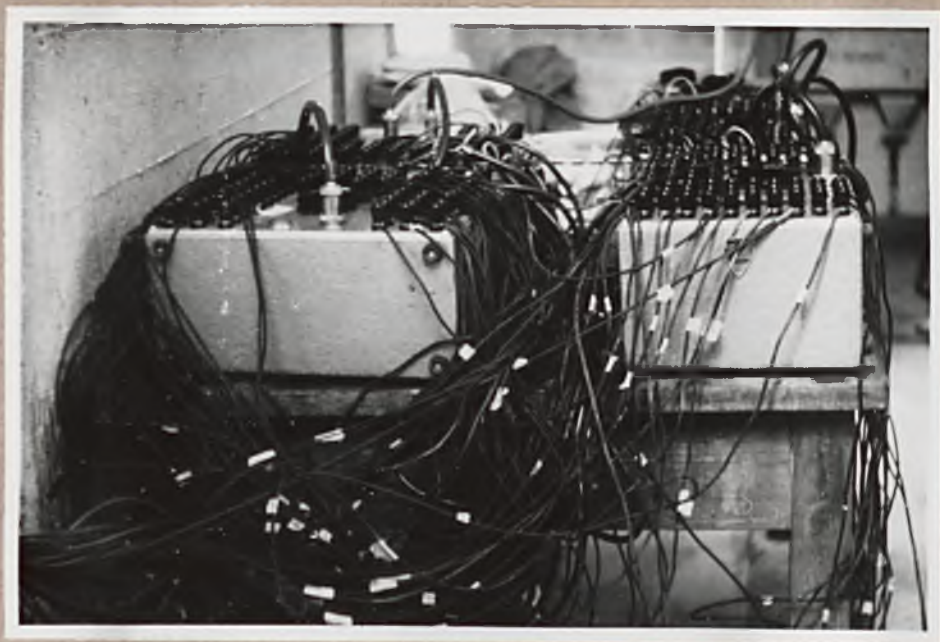
Fot. 1



Fot. 2



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5



Fot. 6



Fot. 7



Fot. 8



Fot. 9



Fot. 10



Fot. 11



Fot. 12



Fot. 13



Fot. 14



Fot. 15



Fot. 16

