

INŻYNIERIA i BUDOWNICTWO

ORGAN ZWIĄZKU POLSKICH INŻYNIERÓW BUDOWLANYCH

ROK II

M A J 1939

NR 5

TREŚĆ: A. Pszenicki — O pewnym przypadku rozerwania się przy opuszczaniu kesonu, filara mostu. Dr. A. Chmielowiec — Obliczenie nakładek i ciężaru własnego belki blaszanej. Dr. Z. Wasiutyński — Dwa mosty lukowe z belkami stężącymi. Dr. Z. Wasiutyński — Most bez łożysk, długości 40 m. Inż. W. Sterner — Uszkodzenie wspomników pewnego mostu drogowego. Inż. Cz. Krzywicki — O związkach między wykresami momentów przęsła belki ciągłej, obciążonej równomiernie. Inż. H. Griffel — Spawane dźwigary szerokostopowe. Pierwszy Polski Zjazd Betoniarzy. Recenzje. Z prasy technicznej. Komunikaty Z. P. I. B. Komunikat Departamentu Budownictwa Ministerstwa Spraw Wojskowych. Biuletyn Laboratoriów Budowlanych.

ANDRZEJ PSZENICKI (Warszawa)

O PEWNYM PRZYPADKU ROZERWANIA SIĘ PRZY OPUSZCZANIU KESONU FILARA MOSTU PRZEZ WISŁĘ W PŁOCKU

Jednym z najpewniejszych sposobów pod względem wykonania robót posadowienia podpór na znacznych głębokościach jest niewątpliwie stosowanie sprężonego powietrza — przy użyciu kesonów. Inne sposoby jako to: opuszczane studnie, posady palowe mogą czasami zawieść. Przy opuszczaniu studzien, jeżeli noż studni natrafi na jakikolwiek większy głaz i jeżeli przy wyczerpywaniu gruntu w studni głaz się nie usunie spod noża, to następuje wykrzywienie się studni i studnia przestaje się opuszczać. Usuwanie takich przeszkód jak duże kamienie lub też pnie drzew jest zazwyczaj kosztowne, a przede wszystkim zmusza do i wskutek tego plan wykonania robót w pewnym określonym czasie może ulec znacznym opóźnieniom.

Z palami również są często znaczne kłopoty, gdyż przez pewne warstwy gruntów często nawet niewielkiej grubości pale niechęć iść. Tak np. przez warstwy piasku drobnego, zbite warstwy żwiru, warstwy kurzawek, przez warstwy kamieni. W prawdzie w tych przypadkach można sobie pomóc przez zastosowanie podmywania pali, lecz sposób ten można stosować tylko wtedy, gdy mamy jeszcze warstwy poniżej zalegające, w które możemy wbijać pale normalne za pomocą uderzeń młota-kafaru. W przeciwnym razie przy podmywaniu gruntu następuje zamiast zgęszczenia rozrzedzenie gruntu, zatem otrzymujemy wyniki odwrotne, a nie te do których dążymy przy biciu pali, tj. do zgęszczenia gruntu. Muszę tutaj zaznaczyć, że posadę palową uważam pod względem stałości fundamentu za najpewniejszą, o ile tylko pale są należycie wbite i z odpowied-

nim wpędem. Podpory palowe, jak mi to wieloletnia praktyka pokazała osiadają najmniej, a raczej wcale nie osiadają, jeżeli tylko został osiągnięty należyty wpęd i odpowiednie do wpędu zastosowane było obciążenie pali. Mówiąc o stałości posady palowej, mam na względzie podpory podlegające przeważnie ciśnieniom pionowym. Przy znacznych ciśnieniach poziomych, mających miejsce w mostach rozporowych lub w przeczółkach przy wysokich nasypach, stałość podpory nie zawsze może być osiągnięta przy zapewnieniu stałości pali od sił pionowych.

Przy posadowieniu fundamentów na kesonach wszelkie przeszkody, na które natrafiamy usuwamy dosyć łatwo. Prawidłowe jednak opuszczanie kesonów wymaga dużych ostrożności, umiejętności a raczej dużego doświadczenia. Przy nieodpowiednim opuszczaniu kesonu, keson może się przechylić i wyprostowanie jego może się okazać nie tylko b. trudne, lecz często nawet niemożliwe. Keson podczas opuszczania może się przesunąć w tę lub inną stronę w płaszczyźnie poziomej lub też może się obrócić koło osi pionowej. Wszystkie tego rodzaju nieprawidłowości w osiadowaniu kesonów mogą powstawać od różnych przyczyn. Nie będę tutaj omawiać tego, gdyż sprawa ta nie wchodzi w zakres niniejszego artykułu. Muszę jednakże zaznaczyć tutaj, że projektowanie samego kesonu, konstrukcja jego noża, szerokość półek poziomych ponad krawędzią noża zależy od charakteru gruntu, przez który ma keson przechodzić. Nadanie należytych wymiarów tym półkom po większej części stanowi o dobrym, prawidłowym i sprawnym opuszczaniu kesonów.

nu. Wielkość podstawy kesonu gra tutaj nie małą rolę. Im większa jest podstawa kesonu tym szerokość półek powinna być większa.

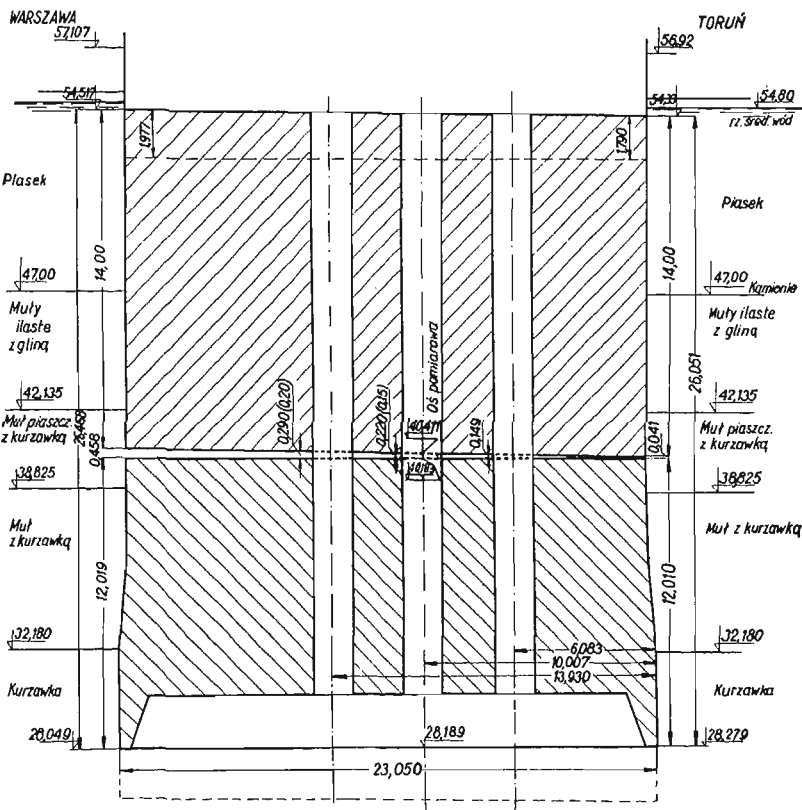
Tak np. przy podstawie kesonu 554 m² szerokość półek stosowałem 0,750 m przy 210 m² — 0,45 m (rys. 1). Grunt w tych przypadkach był jednakowy dosyć słaby. Oczywiście przy kesonach o powierzchni podstawy 554 m² była możliwość prowadzenia murów nie na całej powierzchni sufitów izby roboczej, lecz pozostawiało się studnie o kształcie stożków z wierzchołkami u dołu. Stąd wynikało, że przy stosunku powierzchni kesonów $\frac{554}{210} = 2,64$ stosunek szerokości półek noża był

tylko $\frac{150}{450} = 1,70$. Przez stosowanie studzien

(czasowo podczas opuszczania) można było ciśnienie na grunt pod półkami nożów kesonu utrzymać jednakowe. Chociaż jak to już zazaczyłem opuszczanie kesonu nie nastęrcza trudności

pod względem wglębiania się w grunt, to jednak prawidłowe opuszczanie wymaga i umiejętności doświadczenia i pełnego rozumienia czynności jakie mają miejsce podczas opuszczania kesonu. Pewne forsowanie przy opuszczaniu, pewnie nie liczenie się z właściwościami gruntów, przez które keson przechodzi mogą stać się przyczyną czasami poważnych nieprawidłowości, a nawet znacznych komplikacji i to kosztownych.

Zadaniem niniejszego artykułu jest wskazanie na pewien przypadek jaki miał miejsce przy



Rys. 2

opuszczaniu kesonu podpór mostu przez Wisłę w Płocku.

Głębokość opuszczania kesonów pod fundamenty filarów z prawego brzegu Wisły od strony Płocka była dość znaczna. Głębokość ta dochodziła do 30,0 m poniżej poziomu wody normalnej. Przy opuszczaniu kesonów stosowano tutaj sposób zmniejszania ciśnienia w kesonie po wyjęciu gruntu na pewną głębokość poniżej poziomej półki noża kesonu. Przy obniżeniu ciśnienia powietrza w kesonie, ciśnienie na grunt pod półkami wzrastało, grunt spod półki poziomej kesonu wypierało i keson osiadał na pewną głębokość. Nie było to przeto opuszczanie w sposób ciągły, lecz w sposób periodyczny, co pewien czas na pewną głębokość w czasie kilku minut.

Przy jednym z takich osadzeń kesonu w filarze N 5, licząc od lewego brzegu ku prawemu, gdy nóż kesonu był na głębokości około 26,00 m nastąpiło rozerwanie się filara tak, że górne 14 m zawisło zaciśnięte w gruncie, dolne zaś 12,00 m opuściło się. Przy tym rozerwanie i przesunięcie dolnej części względem górnej było nie tylko ruchem postępowym lecz jednocześnie i zrobiło obrót koło osi poziomej, prostopadłej do podłużnej osi filara.

Szczelina pomiędzy górną i dolną częścią filara tworzyła rodzaj klina, którego grubszy koniec od strony izbicy miał wymiar 0,46 m zaś cienki od tyłu miał koło czterech cm (rys. 2). Nóż kesonu okazał się od strony Torunia na kocie 28,279, zaś od strony Warszawy na kocie 28,049, różnica zatem 0,23 m. Ponieważ różnica w szczelinie była 0,458 — 0,041 = 0,417 m przeto należy wnioskować, że miało miejsce przechylenie kesonu względem osi poprzecznej o 0,417 — 0,230 = 0,187 m. Możliwe jest, że było podkopywanie większe noża kesonu od strony Warszawy, mniejsze zaś od strony Torunia, aby wyrównać keson. Mówię tutaj, że możliwe jest, gdyż ustalić tego na miejscu się nie udało.

Z rozmów na miejscu okazało się, że wszystko było robione prawidłowo i że nieszczęście się stało jakby bez przyczyny. Ważne jednakże jest ustalenie choćby teoretycznie przyczyn tego bądź co bądź bardzo rzadko mającego miejsce zjawiska przy opuszczaniu kesonu. W literaturze technicznej tego rodzaju zjawiska są notowane zaledwie kilka razy, dlatego też uważam za stosowne wskazać na to, które miało miejsce w moście w Płocku, i wskazać jednocześnie na te proste i jednocześnie tanie sposoby, które wskazałem, aby opuścić keton tego filara jeszcze na dwa przeszło metry, gdyż oczywiście nie można było posadzić kesonu w kurzawce.

Jak widać z rys. 3, od strony Warszawy mamy znacznie grubszą warstwę kurzawki niż od strony

Torunia, tj. grunt który spływa i który zatem daje mniejsze tarcie. Na kocie koło 40 m gdzie nastąpiło rozerwanie filara i wyżej mamy tak z górnej strony filara jak również i z dolnej tj. od strony dzioba i z tyłu, warstwy gruntu mniej więcej jednakowe, przeto możemy przypuszczać, że ciśnienie na boki filara były tutaj jednakowe na całym jego obwodzie. W dolnej zaś części od strony dzioba tarcie było mniejsze z powodu większej miąższości kurzawki niż od strony tylnej. Następnie z uwarstwienia gruntu widać, że górna część filara miała takie warstwy jak glina z mułem i kamieniami, które przy płaszczu z desek nie tylko naciskały na deski, lecz mogły się nawet wżerać w te deski i tym sposobem jakby w kleszczach trzymać tę część górną. Jeżeli do tego dodamy, że beton fundamentu przy opuszczaniu kesonu ma pewne przemieszczenie i zatem górna warstwa betonu nie jest dobrze powiązana z wykonaną przed przerwą dolną i wskutek tego wytrzymałość betonu na rozerwanie nie jest niewielka, to otrzymamy wszelkie dane, aby wywnioskować dlaczego nastąpiło rozerwanie.

Podkopanie noża kesonu od strony izbicy większe niż od strony tylnej i zmniejszenie ciśnienia dla osadzenie kesonu spowodowało, że górna część filara wzięta jakby w kleszcze przez siły tarcia utrzymana została przez te siły, dolna zaś, będąc w kurzawkach i mając mniejsze podparcie od strony izbicy, oderwała się od górnej, dążąc do wyrównania ciśnienia na grunt stosownie do podkopania noża.

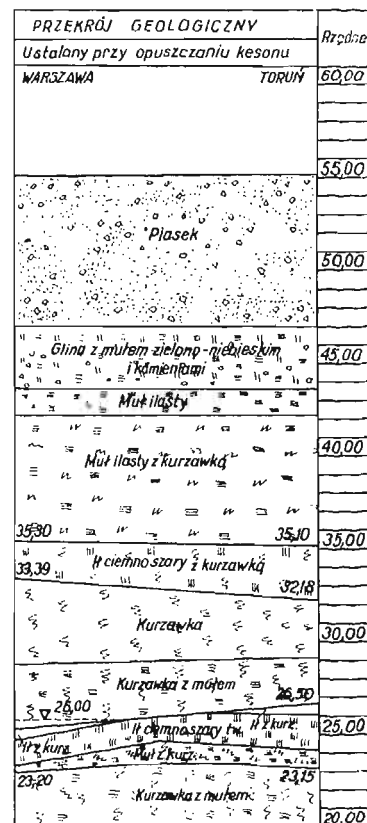
Przypuszczenia, że filar został złamany przez siły powstałe wskutek ruchu całej warstwy ziemi, a raczej pewnej warstwy dna Wisły, niestety nie trafia mi zupełnie do przekonania. Jak widać z przekroju podłużnego filara rys. 1. część dolna filara oderwana od górnej znajdowała się w warstwach gruntów kurzawkowych, grunty te wywierały oczywiście, jak już wskazałem, mniejsze tarcie niż grunty górnej części i to było przyczyną rozerwania się filara. Rozerwanie filara miało miejsce dnia 17 lipca 1937 roku.

Wezwany do leczenia tej tak dużej rany filara w dniu 18 lipca, przyjechałem do Płocka z Morszyna w dniu 19 lipca. Pierwszą rzeczą było oczywiście nie leczenie rany, lecz zastanowienie się jak dalej postąpić, gdyż zatrzymanie kesonu w kurzawce nie mogło mieć miejsca i należało przejść jeszcze koło 2,5 m, aby werznąć nóż kesonu w twardym ile, lub w każdym razie posadowić fundament filara na tym ile.

Pierwsze sugestie jakie mi narzucono, dotyczyły opuszczenia trzech studzien w kesonie, który miał pozostać na tej kocie, przy której nastąpiło rozerwanie. Przy trzech studniach o jak największych wymiarach w planie możliwych w kesonie, ciśnienie na grunt otrzymywało się około 25 kg/cm². Brano wtedy do pomocy siły tarcia i przy ich pomocy zredukowano to ciśnienie do 12 kg/cm². Przy prawidłowym posadowieniu filara ciśnienie na grunt wynosiło koło 10 kg/cm². Oczywiście mógłbym się zgodzić przy tej głębokości posadowienia na 12 kg/cm², o ile bym miał pewność, że siły tarcia nigdy nie zawiodą. Lecz

niestety tego przeświadczenia nie miałem. Zresztą trzymałem się i trzymam tej zasady, że siły tarcia jako siły szkodliwe należy uwzględniać, zaś jako siły pożyteczne należy uważać za wątpliwe i dlatego też w takich warunkach, jakie miały miejsce w rozpatrywanym przypadku nie mogłem się zgodzić na ich uwzględnianie.

Drugie rozwiązanie które mi podsuwano, to zapuszczanie w kesonie pali wierconych koło 300 sztuk z dość znacznym ciśnieniem na pal bo dochodzącym do 36 t na pal. Ponieważ wykonywanie w ogóle robót w kesonie przy prawie trzech atmosferach dodatkowego ciśnienia jest uciążliwe, nie wierzyłem, aby robota taka mogła być wykonana dobrze. Zresztą nie miałem pewności, czy pale wiercone w kurzawce mogą być dobrze wykonane i czy w ogóle ciśnienie na pale będzie



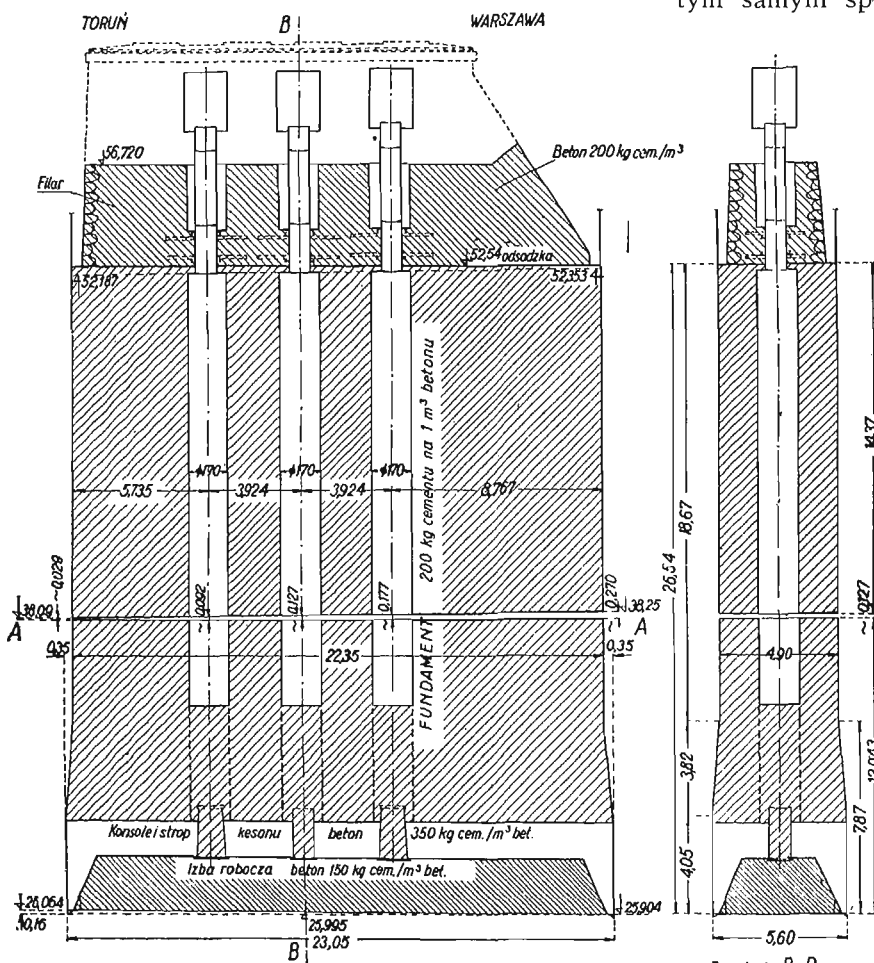
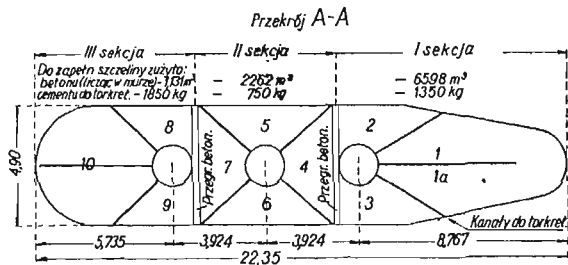
Rys. 3

równomierne. Obawiałem się również przebicia stosunkowo niewielkiej grubości warstwy łu przez poszczególne pale, oraz miałem wątpliwości czy w ogóle można by było rozmieścić te pale na niewielkiej płaszczyźnie, przeto i ten sposób odrzuciłem tym więcej, że oba te sposoby były b. kosztowne i wymagały dużo czasu na ich wykonanie.

Wybrałem sposób najprostsz, który początkowo trafił na b. duży sprzeciw szczególnie ze strony pewnych osób firmy wykonywującej opuszczanie kesonu filaru N 5 i pewny sceptycyzm ze strony innych uczestników narady nad usadowieniem filara, który wkroczył na błędną drogę. Zaproponowałem, aby górną część filara, o ile możliwości obciążyć żwirem, który był przygotowany do betonu i leżał tuż przy filarze. Filar N 5

przypadł akurat na wyspie i obciążenie górnej części nie przedstawiało najmniejszej trudności. Obciążenie to doprowadzone było do 5 m wysokości od strony izbicy i do 4 m od strony przeciwnej filara. Po obciążeniu zaleciłem grunt usuwać w kesonie tak, jakby szło normalnie opuszczanie kesonu. Po takim wybraniu gruntu z kesonu robotnicy mieli być usunięci z kesonu na wszelki przypadek a boki górnej części filara

Rys. 6



Rys. 4.

później trudno było ją zapełnić betonem. Po odpowiednim podmyciu boków górnej części filara poleciłem stopniowe zmniejszanie ciśnienia w izbie roboczej i obserwowanie szybów kesonowych i górnej części filara, czy opuszczają się jednocześnie. Po tych zarządzeniach, a raczej radach, wyjechałem, nie dawszy jakichkolwiek innych rad, pomimo żądania ich ode mnie, gdyż temu prostemu sposobowi leczenia nie dawano wiary. Jeden jedyny człowiek, który zdaje się uwierzył w celowość moich rad to był ś. p. Bernard Morawski, który był kierownikiem robót z ramienia firmy K. Rudzki i który rzekł: „a to się udać może”.

Po tygodniu otrzymałem pierwszą wiadomość, że przy pierwszym wykonaniu zaleceń obie części — dolna i górna opuściły się na 13 cm. Było to dowodem trafności mej rady i dlatego też z daleka od Warszawy poleciłem inżynierowi, który do mnie przyjechał z rezultatami pierwszej próby, zastosowanie dalszego opuszczania kesonu tym samym sposobem zachowując nadal ostrożność — według zaleconego przeze mnie sposobu. W dniu 31 lipca keson został opuszczony do koty 26,00 m, tj. został posadowiony na warstwie iltu twardego. Szczelina właściwie pozostała tej samej wielkości, jaka się wytworzyła pierwotnie, gdyż zapełniła się od razu drobnym zwartym piaskiem i mułkiem kurzawkowym. Zapelnienie izby roboczej odbyło się oczywiście normalnie. Zatem pierwsza część i można powiedzieć najważniejsza przeszła szczęśliwie. Następną fazą robót polegała na tym, aby ze szczeliny usunąć piasek, mułek i inne naleciałości warstw ziemi i zastąpić je betonem i zaprawą cementową.

Wykonanie tych robót było następujące. Studnie szybowe zapełnione były betonem mniej więcej do wysokości dwa metry, niedochodzącej do szczeliny. Studnie te następnie wykorzystane były jako rury szybowe tak, że szluzy kesonowe umocowane były w tych studniach, jak to widać z rys. 4. i 5. Ponieważ studnie te były niedostatecznie szczelne dla powietrza sprężonego, przeto powierzchnia ich boczna była wyłożona warstwą zaprawy cementowej z cementu alca.

Przekrój B-B

Rys. 5

zawieszoną poleciłem podmywać za pomocą rur o średnicy 20 — 25 mm i pod ciśnieniem, aby zmniejszyć przez podmywanie tarcia. Było to nic innego jak tylko postępowanie w myśl przysłowia rosyjskiego: „czem uszibiasia tiem i leczysz”, „czym żeś się skaleczył, tym się kuruj”. Tarcie sprawiło nie szczęście, usuwaj tarcie! Oczywiście nie łudziłem się, aby przy tym szczelina się zmniejszyła. Zresztą byłoby nawet niedobrze, aby była b. wąska, bo by

W planie szczelina podzielona została na trzy części przegrodami z betonu tłustego na cementzie szybkowiążącym i następnie za pomocą specjalnych łomów składanych z rur łączonych na śruby i specjalnych grac usuwano ziemię ze szczeliny. Po usunięciu ziemi i przepłukaniu szczeliny strumieniami wody pod ciśnieniem z danego odcinka, betonowano go. Na rys. 6. pokazany jest podział na 10 odcinków, które w kolejności ich

numeracji oczyszczano i betonowano. W trzech sekcjach przekroju poziomego filara pozostawiono dziesięć otworów rurowych w betonie, za pełniającym szczelinę powstałą od rozerwania filara. W otwory te następnie przez szczelną wstawianą do ich wejść rurę stalową nagniatano za pomocą cementową pod ciśnieniem około 8 atmosfer, aby wszelkie puste miejsca, które pozostały wskutek niezupełnie szczelnego wypełnienia szczeliny betonem, ostatecznie uszczelnić.

Ilość zużytego betonu była dokładnie mierzona i po obliczeniu objętości jego okazało się, że do wypełnienia zużyto większą objętość betonu od objętości teoretycznej szczeliny. Więcej betonu poszło dlatego, że przy oczyszczaniu szczeliny wygarniano i część betonu, który pozostał luźny przy rozerwaniu się filara, a następnie przy podbijaniu betonu w szczelinie część betonu mogła wyjść poza obręb przekroju filara. Na rys. 6 pokazane są objętości betonu użytego do zapelnienia szczeliny oraz cementu do zastrzyków pod ciśnieniem. Z tych objętości wynika, że w sekcji I. poszło 6,6 m³ betonu i 1350 kg cementu. W szczelinie największej i najdłuższej betonowanie do pewnego stopnia było utrudnione, mogły więc pozostać pewne miejsca puste i dlatego cementu do torcretowania poszło dosyć dużo. Środkowa część zajmująca pośrednie miejsce

wchłonęła tylko 2,3 m³ betonu i cementu do zastrzyku 750 kg. Betonowanie to było łatwiejsze, głębokości mniejsze. Wreszcie sekcja III. przyjęła mało betonu, bo 1,13 m³ — szczelina wąska, dochodząca do 3 cm, betonowanie szczelne utrudnione. Po betonowaniu pozostały szczeliny, które wchłonęły 1850 kg. cementu.

Studnie szybowe, jak już zaznaczyłem, polecone było zabetonować nie dochodząc dwa metry do szczeliny, o to w tym celu, aby robotnik staawszy na odpowiednim stoku mógł dogodnie pracować przy oczyszczaniu i betonowaniu szczeliny, pozostając na niewielkim wzniesieniu, a nie w wodzie, gdyż w studniach tych oczywiście zawsze była woda, którą odpompowywano. Plan wypełniania szczelin był ustalony a priori i był ściśle wykonany przez prowadzącego roboty ze strony firmy s. p. inż. B. Morawskiego, który ufając już wskazówkom zaznaczył, że wykona wszystko co do joty. Uważam, że zagadnienie to rozwiązane zostało i w sposób najprostszy i najtańszy. Czy jednak przy innych warunkach dla zmniejszenia tarcia pomiędzy bokami filarów opuszczanych za pomocą kesonów a gruntem nie trzeba będzie stosować jakichkolwiek innych środków zamiast oplukiwania wodą, nie wiem, lecz nie chciałbym twierdzić, że woda jest jedynym środkiem.

Dr Inż. ALFONS CHMIELOWIEC (Lwów)

OBLICZENIE NAKŁADEK I CIĘŻARU WŁASNEGO BELKI BLASZANEJ

Znany wzór na grubość d nakładki belki blaszanej¹⁾ wymaga ściśle biorąc metody iteracji, czyli kolejnych przybliżeń, gdyż po prawej stronie zawiera szukaną wielkość. Prof. K. F. Vetulani²⁾ podał jego drugie przybliżenie w postaci, która dzięki wprowadzeniu modułów przekroju nie jest bardzo zawiła, a jednak uwalnia od iteracji.

Ponieważ szereg wartości przybliżonych wzoru iteracyjnego jest bardzo zbieżny, już pierwsza wartość przybliżona jest dostatecznie dokładna, zwłaszcza gdy jako wartość wyjściową zamiast $d = 0$ przyjmujemy np. $d = 2$ cm.

Dlatego nie będziemy dążyć do wyrugowania niewiadomej z prawej strony wzoru. Natomiast chętnie skorzystamy z modułów przekroju jako danych. Jako niewiadomą obierzemy przekrój użyteczny nakładki. Tak otrzymany wzór (8), zaleca się nadzwyczajną prostotą. Opierając się na nim znajdziemy ciężar własny belki blaszanej i porównamy do wzoru (8), uwzględniając ten ciężar.

Dane są moment gnący M i naprężenie do-

puszczalne k , czyli dany jest potrzebny moduł przekroju.

$$W = \frac{M}{k} \quad (1)$$

Odpowiednio do warunków obieramy pewien przekrój podstawowy. W konstrukcji nitowanej będzie to ścianka i 4 kątowniki, w konstrukcji spawanej sama ścianka lub pewien dźwigar walcowany. Oczywiście przekrój belki a więc i przekrój podstawowy będzie symetryczny względem osi poziomej.

Nazwijmy (rys.) h_0 wysokość, zaś I_0 moment bezwładności przekroju podstawowego z potrąceniem dziur na nity pionowe, to jego moment oporu

$$W_0 = \frac{2 I_0}{h_0} \quad (2)$$

będzie oczywiście znacznie mniejszy od W . Możemy go obliczyć wg (2), albo znaleźć w odpowiednich tablicach. Przez dodanie (dospojenie względnie donitowanie) nakładek na górze i od spodu przekroju podstawowego, o przekroju użytecznym łącznie $2 F_n$ zwiększamy moment bezwładności o I_n tak, że całkowity moment bezwładności będzie

$$I = I_0 + I_n$$

¹⁾ Thullie; Mosty blaszane, Lwów 1905, str. 4. Podręcznik statyki. Wydanie III. Lwów 1917, str. 188.

²⁾ K. F. Vetulani; Wzór przybliżony dla projektowania nakładek belki blaszanej. Księga Pamiątkowa ku uczczeniu zasług doktora h. c. Prof. M. Thulliego. Lwów — 1932.