



PRZEGLĄD TECHNICZNY

CZASOPISMO POŚWIĘCONE SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU

WYDAWCA SP. Z O. O. PRZEGLĄD TECHNICZNY

REDAKTORZY INŻ. J. FALKIEWICZ I INŻ. M. THUGUTT

Nr. 24

WARSZAWA, 24 LISTOPADA 1937 R.

Tom LXXVI

Prof. Dr. Inż. ST. KUNICKI

666.987:693.55

Żelbet stężony, jako nowy materiał budowlany

Jak wiadomo, w żelbecie przy wysychaniu na powietrzu powstają, pod wpływem skurczu, rysy i pęknięcia w strefie rozciąganej betonu.

Najprostszym środkiem dla przeciwdziałania temu było by wywołanie w tej rozciąganej strefie sztucznego stałego naprężenia odwrotnego znaku, t. j. ściskania tak wielkiego, żeby, przy największym obciążeniu użytkowym danej konstrukcji żelbetowej, naprężenia w betonie były zawsze ściskające.

Idea sztucznych pierwotnych naprężeń (*précontraintes initiales*) nie jest nowa, gdyż w technice już dawno w wielu wypadkach stosowane były naprężenia o znaku przeciwnym w stosunku do naprężeń wywoływanych przez obciążenia użytkowe.

Np. w mostach stalowych w celu zmniejszenia strzałki ugięcia — nadaje się dźwigarom wygięcie sztuczne w odwrotną stronę (tak zwana odwrotna strzałka budowlana).

W dźwigarach, w których pasy dolne podtrzymane są pośrodku głównych przedziałów — wieszakami, — skraca się nieco wieszaki i nadaje się odwrotna strzałka wygięcia pasom, t. j. wywołuje się pierwotne naprężenie odwrotnego znaku.

W dźwigarach drewnianych mostów amerykańskiego systemu *Howe'a*, dla wywołania należytego nacisku między skosami i pasami, struny żelazne skraca się przez naciąganie ich w stronę odwrotną niż rozciąganie przez obciążenie użytkowe.

W dźwigarach dachowych, w ścięgnałach łuków i w wielu innych wypadkach były już stosowane naprężenia sztuczne.

Zastosowanie tej idei do konstrukcji żelbetowych wymagało zadośćuczynienia pewnym warunkom, a mianowicie należało mieć beton odrazu, w samym początku, takiej wytrzymałości, żeby mógł przejąć znaczne naprężenia ściskające przy możliwie małym odkształceniu. Wiadomo zaś, że w zwykłych warunkach beton twardnieje z biegiem czasu dość wolno i że na to twardnienie pozostawia się pewien okres, po którym dopiero może być dopuszczone obciążenie użytkowe.

Znakomity inżynier francuski, *E. Freyssinet*, projektodawca i wykonawca sławnego mostu łukowego¹⁾ przez rzekę Elorn około Plougastel (w pobliżu portu Brest) we Francji, pracując od r. 1905 nad udoskonaleniem konstrukcji żelbetowych²⁾, zrobił dwa wynalazki, o których mówi w swoim artykule p. t. „*Une Révolution dans les Techniques du Béton*”³⁾.

Pierwszy wynalazek polega na tym, że ogrzewając beton parą wodną do 100°C w pokryciu izolacyjnym można otrzymać po kilku godzinach ogrzewania — taką twardość betonu, która odpowiada kilku miesiącom twardnienia betonu na wolnym powietrzu.

Po dwóch do trzech godzinach wskazanego ogrzewania uzyskiwano wytrzymałość betonu, na zwykłym cemencie portlandzkim, do 300 kg/cm² z łatwością, jak mówi inż. *Freyssinet*, można otrzymać wytrzymałość betonu i do 500 kg/cm², t. j. możemy w samym początku po wytworzeniu betonu osiągnąć wysoką jego wytrzymałość.

Powyższe zjawisko stwierdzono w betonach o bardzo dużej zawartości (*très haute compacité*), które zostały otrzymane przez obróbkę mechaniczną, a mianowicie przez wibrację z następującym po niej sprasowaniem. Takie betony mogą wytrzymać bezpiecznie silne ogrzewanie.

Po przekroczeniu ogrzewania wytrzymałość takiego betonu rośnie, jak w zwykłym betonie niepodanym mechanicznej obróbce, i dochodzi do wysokiej wartości, ograniczonych tylko wytrzymałością agregatów (t. j. Kruszywa). W ten sposób można przygotować betony o wytrzymałości do 1200 i nawet do 1500 kg/cm².

Drugi wynalazek inżyniera *Freyssinet'a* polega

¹⁾ O przesłach po 186 m, z jazdą w dwóch poziomach.

²⁾ Société des Entreprises Limousin (*Procédés Freyssinet*).

³⁾ Mémoires et Compte Rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France. 1935. Wrzesień — październik.

właśnie na zastosowaniu do opisanego wyżej betonu o wysokiej wytrzymałości idei pierwotnych sztucznych naprężeń, a mianowicie na rozciąganiu sztucznie uzbrojenia, co wywołuje jednocześnie silne ściskanie betonu. Beton znajduje się pod stałym naciskiem (*précontrainte permanente*).

Pod wpływem sztucznego nacisku uzbrojenia beton się odkształca, przy czym nacisk uzbrojenia się nieco zmniejsza.

Otóż ściskanie uzbrojenia należy brać z pewnym zapasem, a beton mieć o dużej zwartości (sprasowany), żeby odkształcenie było małe i w rezultacie otrzymać duży stały nacisk.

Trzecia myśl inż. *Freyssinet'a* polega na takim wykorzystaniu tych dwóch wynalazków, żeby otrzymać nowy materiał, nowy rodzaj żelbetu, mający wielkie zalety techniczne i dający znaczną oszczędność na budowach w porównaniu ze zwykłym żelbetem.

W tym celu wynalazca proponuje zastosowanie do uzbrojenia stali o wysokiej wytrzymałości, oraz betonu o wysokiej wytrzymałości.

Oczywiście oszczędność możnaby uzyskać w tym wypadku, gdyby koszt jednostki stali o wysokiej wytrzymałości mało się różnił od kosztu stali zwykle stosowanej do uzbrojenia, co ma miejsce w krajach, gdzie jest rozpowszechniona masowa produkcja stali o wysokiej wytrzymałości, jak np. we Francji.

W naszych obecnych warunkach — różnica między kosztem stali zwykłej i stali o wysokiej wytrzymałości jest bardzo znaczna. Należy jednak oczekiwać, że w przyszłości ten stan rzeczy się zmieni i że u nas również nastąpi wzrost produkcji stali o wysokiej wytrzymałości.

We Francji huty dostarczają obecnie stali o wytrzymałości do 100 kg/mm² po cenie niewiele wyższej od ceny zwykłej miękkiej stali.

Granica sprężystości powyższej stali może być doprowadzona do 80 kg/mm² przez zwyczajne rozciąganie na zimno.

Przez zahartowanie tejże stali, nagrzewanie w piecach i powolne studzenie oraz przez ponowne rozciąganie można uzyskać podniesienie granicy jej sprężystości¹⁾ do 130 i do 140 kg/mm² przy małym powiększeniu kosztu (np. do 2 do centymów na kg, jak zaświadcza inż. *Freyssinet*).

Ponieważ obecnie stosuje się zwykle stal o granicy sprężystości 24 kg/mm² więc (zakładając (prawie jednakową cenę stali zwykłej i stali o wysokiej wytrzymałości, jak to ma miejsce we Francji) możemy przy zastosowaniu stali o wysokiej wytrzymałości zmniejszyć stosunek: c e n y j e d n o s t k o w e j do granicy sprężystości ok. 5-krotnie.

Taką samą prawie oszczędność możemy osiągnąć na betonie, gdyż z łatwością możemy znaleźć kruszywo o wytrzymałości do 1500 kg/cm² i nawet więcej, a zatem zwykły stosunek: k o s z t u m³ b e t o n u do wytrzymałości krytycznej na ściskanie może być zmniejszony ok. 5-krotnie.

W żelbecie stężonym mamy do czynienia tylko ze ściskaniem w betonie.

Natomiast w zwykłym żelbecie zastosowanie uzbrojenia ze stali o wysokiej wytrzymałości nie ma prawie żadnego znaczenia, gdyż w tym wypadku beton pracuje częściowo na rozciąganie (a mianowicie w strefie dolnej przy zginaniu); granicę zaś wytrzymałości betonu na rozciąganie osiąga się już przy naprężeniach uzbrojenia, odpowiadających granicy plastyczności stali miękkiej i wówczas powstają pęknięcia w betonie.

Zatem w zwykłym żelbecie uzbrojenie ze stali o wysokiej wytrzymałości nie może być wykorzystane należycie.

Dla ilustracji rentowności (w warunkach francuskich) inż. *Freyssinet* podaje następujący przykład:

Jeśli użyć do uzbrojenia, zamiast stali o granicy sprężystości 24 kg/mm² stali o granicy sprężystości 84 kg/mm² to przy jednakowych pozostałych warunkach, ilość stali uzbrojenia zmniejszy się w stosunku:

$$24 : 84 = 1 : 3,5,$$

t. j. 3,5-krotnie.

Zakładając, że w pierwszym wypadku na jeden m długości belki (lub płyty) przypada 3,5 kg stali w uzbrojeniu, w drugim wypadku mielibyśmy tylko jeden kg.

Licząc (według cen we Francji) koszt jednego kg stali w obu wypadkach po 1 fr, otrzymamy w drugim wypadku 2,5 fr. oszczędności na jeden m długości belki (lub płyty).

Lecz w drugim wypadku należy doliczyć następujące koszty:

1) przygotowanie stałych zakotwień uzbrojenia w betonie;

2) urządzenie w formach do odlewania betonu (w pobliżu końców uzbrojenia) prowizorycznych zakotwień, mogących w danym wypadku wytrzymać siłę 8000 kg;

3) wywołanie takiego rozciągania uzbrojenia do 8000 kg między punktami zakotwienia (w formach do odlewania betonu) i utrzymanie tej siły podczas odlewania betonu i jego twardnienia;

4) rozmontowanie zakotwień prowizorycznych w formach do odlewania betonu (które to zakotwienia byłyby zatopione w betonie) i przeniesienie sił rozciągających uzbrojenie na zakotwienia stałe w betonie, oraz zapełnienie otworów w betonie, pozostałych po uwolnieniu betonu z form.

Oszczędność przy nowym rodzaju żelbetonu (stężonego) uzyskanoby, jeśli koszt powyższych operacji byłby mniejszy od iloczynu z 2,5 fr. przez długość obiektu.

Inż. *Freyssinet* podaje różne sposoby wykonania zakotwień i innych operacji mechanicznych, wypowiadając zdanie, że przy masowej produkcji przemysłowej te operacje mechaniczne kosztują bardzo nie wiele.

Mianowicie, chociaż zachodzą pewne komplikacje w formach do odlewania betonu, za to formy te mogą być bardzo prędko oswobodzane i z tego powodu nie należy sporządzać zapasu form, ze względu na czas twardnienia betonu, skrócony do kilku godzin.

¹⁾ Jak wiadomo, wysokowartościowa stal w drutach używanych do kabli, ma wytrzymałość 150 kg/mm² i więcej i granica plastyczności przez rozciąganie tej stali może być doprowadzona do wartości bliskich krytycznej wytrzymałości na rozerwanie.

Zatem, w obecnych warunkach we Francji, a także krajów prowadzących masową produkcję stali o wysokiej wytrzymałości, nowy materiał żelbetowy, (stężony żelbet) przy masowym jego wyrobie dałby możliwość osiągnięcia bezwzględnej oszczędności.

Ale, oprócz tego, ten nowy materiał żelbetowy ma, wg opinii inż. *Freyssinet'a*, wybitne techniczne zalety, a mianowicie:

- 1) zupełne zniszczenie wszelkich rys i pęknięć w betonie;
- 2) znaczne zmniejszenie odkształceń (ugięć) betonu i stali, dochodzące do $\frac{1}{3}$ w porównaniu ze zwykłym żelbetem;
- 3) zmniejszenie maksymalnych naprężeń ściskających w betonie (przy zgięciu) w stosunku do zwykłego żelbetu, przekraczające 60% w porównaniu z płytami ze zwykłego żelbetu, uzbrojonymi jednostronnie.
- 4) zmniejszenie lub całkowite usunięcie rozciągnięć w betonie, powstających od sił tnących (w zwykłym żelbecie uzbrojenie przeciwko siłom tnącym nie zmniejsza naprężeń rozciągających w betonie; zaczyna ono działać dopiero po osiągnięciu stałego wydłużenia lub pęknięcia betonu);
- 5) znaczna wytrzymałość na obciążenia zmienne (zwykły żelbet takich obciążeń nie wytrzymuje¹⁾).

Te zalety żelbetu stężonego w niektórych wypadkach praktyki budowlanej mogą mieć znaczenie decydujące, niezależnie od względów ekonomicznych.

W takich wyjątkowych wypadkach żelbet stężony mógłby już obecnie mieć zastosowanie i w Polsce, o ile względy ekonomiczne nie byłyby decydujące w porównaniu ze względami bezpieczeństwa i trwałości budowli.

Jako przykłady wykonanych konstrukcyj z żelbetu stężonego inż. *Freyssinet* cytuje, między innymi, następujące:

- 1) doświadczenia porównawcze obciążeń zmiennych ze słupkami z żelbetu zwykłego i stężonego, i
- 2) wzmocnienie fundamentów dworca morskiego w porcie Havre.

Odnosnie p. 1) poddano obciążeniom zmiennym na zginanie słupki żelbetowe o jednakowych głównych wymiarach, a mianowicie o długości 12 m, zamocowane na długości 2 m od ich podstawy, i składające się każdy z dwóch części, których końce mogły być zginane to w jedną, to w drugą stronę.

Słupki A z żelbetu stężonego, liczący pięć miesięcy od momentu zabetonowania, zawierał 56 kg stali i ważył 750 kg.

Naciągnięciem podłużnego uzbrojenia w tym słupku nadano betonowi jego stały znaczny nacisk pierwotny.

Słupki B, liczący osiemnaście miesięcy od momentu zabetonowania, zawierał 130 kg stali i ważył 980 kg.

Stal w obu słupkach była w tym wypadku jednokowa.

Obciążenie łamiące przy zgięciu, mierzone na identycznych słupkach, wynosiło ok. 900 kg.

Obciążenie zmienne (8 razy na min.), przyłożone do wierzchołka słupków, zmieniało się od -450 kg do $+450$ kg.

W początku doświadczeń strzałka ugięcia słupka A stanowiła połowę strzałki ugięcia słupka B.

Już po kilku setkach zmian obciążeń w słupku B powstały znaczne rysy, a pęknięcie nastąpiło po kilku tysiącach zmian obciążeń.

Natomiast słupki A wytrzymał bez rys. i uszkodzeń 500 000 zmian obciążeń.

Jest to różnica bardzo wielka, uzyskana przy znacznie mniejszej ilości stali w uzbrojeniu słupka A.

Odnosnie p. 2).

Morski dworzec w Havrze ufundowany na palach betonowych długości 9 m, zabitych w słaby nasyp i mulisty grunt, zaczął osiadać o jeden do dwóch cm miesięcznie, osuwając się razem z masą nasypanego gruntu.

Stały grunt leży w tym miejscu na głębokości — 20 m, a ponieważ poziom terasy dworca leży na wysokości ok. 9,5 m ponad zerem, więc dla ustabilizowania dworca należało użyć pali ok. 30-metrowej długości, zapuszczonych do gruntu stałego.

Pracę podprowadzenia nowych fundamentów pod dworzec należało wykonać nie naruszając całości budynku i nie utrudniając ruchu, przy czym wg obliczeń okazało się koniecznym przejście przez pale nacisku 150 000 tonn.

Przy pracy w przestrzeni, zapełnionej egzystującymi fundamentami i pod budynkiem obciążonym, mogły się zdarzyć wypadki, że na jeden nowy pale mogło przypaść obciążenie do 200 tonn i więcej.

Naturalnie o biciu pali w tych warunkach mowy być nie mogło, gdyż słaby ilsty grunt mógłby się poruszyć, powodując natychmiastową katastrofę. Możliwe było jedynie opuszczanie pali pod ciągłym naciskiem statycznym (bez wstrząśnień). Lecz i w tym wypadku należało się obawiać zmian w równowadze gruntu pod budynkiem i wytworzenia bocznego ciśnienia na ściany nadbrzeża wskutek wprowadzenia do gruntu nowych pali ogólnej objętości 6 000 m³.

Inż. *Freyssinet* rozwiązał to trudne zadanie, zastosowując nowy materiał, t. j. żelbet stężony.

Mianowicie pod całym budynkiem podprowadził ciągłe bardzo sztywne (t. j. silnie ściśnięte i bardzo mało wyginające się) belki z żelbetu stężonego, łączące między sobą płaskie poduszki (leżące na egzystujących krótkich palach) starych fundamentów. W tych belkach, pośrodku przesł między egzystującymi płytkami fundamentami zostawił otwory i przez te otwory przepuszczał stopniowo, za pomocą ciśnienia hydrostatycznego, opierając się na wspomnianych belkach ciągłych, nowe pale z żelbetu, wytwarzane na miejscu.

W ten sposób żelbetowe sztywne belki ciągłe, silnie ściśnięte, idące pod całym budynkiem, spoczęły na nowych długich palach, przenosząc ciężar budynku na grunt stały.

Robota była wykonana w ciągu czterech miesięcy z najlepszym wynikiem, dzięki szybkiemu stwardnieniu betonu przez ogrzewanie go wodną parą

¹⁾ Szczegółowe dane i studia teoretyczne: Inż. *Freyssinet* „Idées et Voies nouvelles” — Science et Industrie, stycznia 1933.

„Progrès pratiques des méthodes de traitement mécanique des bétons”. Science et Industrie, maj 1935.

do 100°C (jak już wyżej o tym wspomniano) i przez zastosowanie sztucznego naciągnięcia uzbrojenia przy pomocy pras hydraulicznych.

Stal uzbrojenia (którą przez rozciąganie poprzecznie doprowadzono do stanu odpowiadającego granicy sprężystości 80 kg/mm²) była naciągnięta w belkach do 50 lub 60 kg/mm².

W ten sposób wytworzono podtrzymujące cały budynek sztywne belki ciągłe, mogące przejąć znaczne momenty zginające i skręcające, oraz znaczne siły ścinające, nie naruszając przy tym egzystujących poduszek fundamentowych, lecz prze-

ciwnie — wykorzystując je, wraz z ich uzbrojeniem.

Obecnie wykonana już jest znaczna ilość innych budowli i konstrukcyj z żelbetu-stężonego z bardzo dobrymi wynikami.

Powyzsze przykłady dostatecznie ilustrują znaczenie nowego materiału budowlanego, wynalazku inż. E. Freyssinet'a, i pozwalają wyrazić opinię, że ten wynalazek znacznie rozszerzy dziedzinę zastosowania żelbetu i jednocześnie obniży koszt konstrukcyj budowli, stwarzając podstawę dalszego rozwoju techniki budowlanej.

S. M. DRACHAL

621.95.014

Przeciagacze

Rozwój dzisiejszego przemysłu metalowego wymaga coraz to większych szybkości skrawania, utrzymania ścisłych tolerancji, jak najmniejszego czasu obróbki i przede wszystkim taniości produktu. Aby temu zadaniu sprostać potrzebne są nowoczesne obrabiarki i narzędzia. Jednym z najważniejszych dziś narzędzi jest przeciagacz, stosowany przeważnie w dużych zakładach mechanicznych, służący do przeciaga-

wne trudności, które zależne są w dużym stopniu od doświadczenia producenta i warunków technicznych, jakimi on dysponuje, t. j. wykwalifikowanym rzemieślnikiem narzędziowym, odpowiednimi obrabiarkami, pomocami warsztatowymi i t. p. W niniejszej pracy dane dotyczące konstrukcji i wykonania przeciagaczy wzięte są z praktyki przy obserwacji wykonania 2 tys. przeciagaczy i zachowania się ich w pracy na warsztacie. Do obliczeń teoretycznych służą wzory: *Knolla* i *Hiplera*. Materiał użyty do przeciagania powinien być jednorodny, bez zendry i naskórka, które niszczą ostrze przeciagacza. Dla otrzymania gładkich powierzchni wymagane staranne chłodzenie przy pracy, oczyszczanie narzędzia z wiórów po każdym przejściu przez otwór przeciagaczy; w przedmiocie produkowanym należy splanować powierzchnie oparcia prostopadle do osi otworu, aby uniknąć powstawania momentu obrotowego i siły zginającej, która powoduje urywanie się przeciagacza i otrzymywanie niegładkich powierzchni.



Rys. 1.

nia różnych kształtów geometrycznych. Praca tego narzędzia jest ekonomiczna i chociaż koszt jego jest dość duży, opłaca się nawet przy produkcji seryjnej, zwłaszcza przy bardzo wąskich tolerancjach, zamiast dłutowania lub rozwiercania otworów. Czasy obróbki są małe przy zastosowaniu nowoczesnych przeciagarek, maszyna nie wymaga bardzo wykwalifikowanych rzemieślników.

Przeciagacze pokazane na rys. 1 służą do wykonywania różnych otworów. Wykonanie przeciagacza następuje pe-

Konstrukcja i wykonanie.

Cały przeciagacz można podzielić na cztery części: ogon, prowadzenie, część tnącą i część kalibrującą, pokazane na rys. 2. Uzębienie zależy od materiału przeciaganego i długości otworu, przestrzeń pomiędzy zębami obliczona jest na jedną porcję wiórów, dostateczną lecz nie za dużą; wybór podziałki zależy od tego, czy materiał jest ciągliwy, czy twardy. Jeżeli wiór zwiija się gładko (stal nikielowa), podziałkę wybieramy mniejszą, natomiast gdy wiór bardzo się kruszy (brąz, żeliwo, stal węglowa twarda), podziałkę przyjmujemy mniejszą. Wzór wyjściowy na podziałkę: $t = 1,5 \sqrt{L} - 2 \sqrt{L}$, gdzie t — podziałka, L — długość przeciaganego otworu, 1,5—2 — współczynnik zależny od materiału. W celu uzyskania dobrego prowadzenia i gładkich powierzchni powinny pracować jednocześnie co najmniej 2 zęby.

Ilość pracujących pierścieni przyjmujemy $n = \frac{L}{t}$, gdzie n — ilość pracujących pierścieni, L — dł. otworu, t — podziałka. Jeżeli materiał użyty do przeciagania jest bardzo cienki, to wykonywamy przeciagacz z zębami spiralnymi, aby osiągnąć ciągłość pracy; kąt spirali $\gamma = 15^\circ - 20^\circ$, przekrój pokazany na rys. 3. Jeżeli podziałka wypada mała, obrabiamy po kilka przedmiotów razem; chcąc uniknąć zerwania się przeciagacza, należy zamocować przedmiot tak, aby przez cały czas pracy narzędzie miało jednakową grubość wióra do skrawania. Grubość wióra ze względów wytrzyma-