



PRZEGLĄD TECHNICZNY

CZASOPISMO POŚWIĘCONE SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU

WYDAWCA SP. Z O. O. PRZEGLĄD TECHNICZNY

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

Nr. 18

WARSZAWA, 1 WRZEŚNIA 1937 R.

Tom LXXVI

ST. BRYŁA

693 . 55

O hakach w konstrukcjach żelazobetonowych

Istota konstrukcji żelazobetonowej polega na ścisłym współdziałaniu betonu i wkładek stalowych. Bez tego współdziałania belka żelazobetonowa nie byłaby jednolitą belką, ale luźnym szczepieniem dwu materiałów.

Współdziałanie obu tych materiałów opiera się przede wszystkim na przyczepności stali i betonu, która to przyczepność jest tym samym właściwie najistotniejszym czynnikiem w konstrukcji żelazobetonowej.

Przy wkładkach okrągłych gładkich, wielkość tej przyczepności zależy od jakości betonu i od obwodu wkładek. Rozmaita jakość betonu, wahająca w granicach bardzo znacznych, powoduje też rozmaite wartości przyczepności (na 1 cm²), wahające również bardzo, aczkolwiek nie zawsze ustosunkowane w prostym stosunku do wytrzymałości walcowej (kostkowej) betonu, pomimo, że przepisy najczęściej określają tę przyczepność w zależności od teźże wytrzymałości. Przepisy przyjmują zazwyczaj naprężenie dopuszczalne na przyczepność równe lub prawie równe naprężeniu dopuszczalnemu na ścinanie betonu.

Naprężenia przyczepne są w belkach zginanych tym większe, im większe są ścinania w betonie. Są one zatem zazwyczaj niewielkie w płytach, większe, czasem bardzo znaczne w belkach żebrowanych i odpowiednio do tego należy się ustosunkować w zbrojeniu.

W Europie stosuje się dla stali St. 35, St. 37 i jej odpowiedników, np. polska stal handlowa (żelazo handlowe), przekroje okrągłe. Posiadają one przy danym polu przekroju najmniejszy obwód, dlatego też na przyczepność jest to kształt wkładek najgorszy. Nie mniej były stosowane dotychczas u nas prawie wyłącznie ze względu na swą niską cenę. Doświadczenia wykonywane z nimi niejednokrotnie dowiodły jednak, że przy ich zastosowaniu konieczna ścisła współpraca między betonem a wkładkami stalowymi przestaje funkcjonować nieraz bardzo szybko, nieraz nawet jeszcze pod dopuszczal-

nymi obciążeniami, i że stąd wyłania się konieczność wprowadzenia innych czynników, które zapewnią konstrukcji odpowiednią wytrzymałość. Do tych czynników należą przede wszystkim haki, które właściwie spełniają w konstrukcji rolę namiastki, gdy odpowiedniej przyczepności zagwarantować nie można.

Zadaniem haków jest zakotwienie wkładek w betonie, tam, gdzie zakotwienie to jest konieczne. Liczne doświadczenia (*Bacha, Grata, Mylre'a, Tosey'a*) wykazały, że haki rzeczywiście kotwią uzbrojenie, a nawet wskazały teoretycznie najkorzystniejsze ich kształty. Takim najkorzystniejszym kształtem są haki półokrągłe, wprowadzone najpierw przez *Consideré'a*.

Nie zawsze najkorzystniejszy kształt jest potrzebny — więcej jeszcze, nie zawsze nawet przy wkładkach okrągłych potrzebne są wogóle haki. W elementach, w których naprężenia ścinające nie odgrywają żadnej roli, ani nawet większej roli, haki są zbyteczne. W płytach można ich nawet przeważnie nie stosować. Taką konstrukcją płyty żelazobetonowej bez haków zastosowałem po raz pierwszy w r. 1919 przy rekonstrukcji dachu elektrowni lwowskiej zniszczonej przez Ukraińców. Rekonstrukcja musiała być wykonana w bardzo szybkim tempie i w jak najprostszym sposób z żelazobetonu. Mając do dyspozycji pręty okrągłe o stosunkowo małych średnicach, umieściłem je w płycie dołem a nad żebrami i górą, ale bez żadnych haków (i bez odgięć) z najzupełniej dobrym rezultatem.

Przepisy amerykańskie i angielskie wogóle nie wymagają haków. Jeżeli spojrzymy na normalną konstrukcję żelazobetonową, w jednym z obu tych krajów, wykonaną nawet przy pomocy żelaz okrągłych, to haki zobaczymy tylko w pewnej ilości wkładek. Nie mają ich tam np. zupełnie pręty podłużne słupów i wogóle pręty w elementach ściskanych.

Przepisy polskie wymagają jednak haków za przykładem niemieckim. Uważając, że nie jest to

potrzebne zawsze i wszędzie, rozumiem intencję ustawodawców w ten sposób, że haki dają zawsze dodatkową gwarancję, zwłaszcza, gdy beton nie będzie posiadał przyczepności w należytym stopniu. Przepisy polskie pozwalają natomiast na stosowanie haków o dowolnym kształcie, słusznie nie zmuszając konstruktora do wykonania haków okrągłych, które są wogóle najdroższe, a rzadko tylko konieczne, np. w prętach żelazobetonowych belek kratowych *)

Zakotwienie wkładek przy pomocy haków posiada jednak niekorzyści. Jedną z nich, o charakterze teoretycznym, jest ta okoliczność, że chwytają one tylko na końcach, gdy w obliczeniu przyjmujemy — przeciwnie — ściśle współdziałanie betonu i stali na całej długości. Przy belkach łamanych do zniszczenia uwidoczni się to tym, że belki chwycione głównie hakami wykazują zazwyczaj przy zniszczeniu kilka dużych pęknięć, gdy w belkach, w których gra dużą rolę przyczepność, występują najczęściej pęknięcia rozrzucone na całej długości belki, znacznie za to drobniejsze. Drugą z tych niekorzyści — o charakterze wykonawczo-konstrukcyjnym — jest dość kłopotliwa robocizna przy odginaniu haków, zwłaszcza duża przy hakach półokrągłych. Robocizna ta często wynosi około 70—80% ogólnej robocizny odginania żelaz, a niejednokrotnie sięga jeszcze wyżej; ponad to zaś przedłuża czas wykonania. Przy nagromadzeniu większej ilości prętów zakończonych w jednym miejscu, np. na podporze belek wolnopodpartych, czy skrajnej podporze ciągłych, utrudniają one nad to w wielu wypadkach wykonanie konstrukcji przez duże nagromadzenie żelaza w jednym miejscu. Dotyczy to zwłaszcza haków półokrągłych.

Haków można uniknąć, zwiększając przyczepność wkładek do betonu. Można to uczynić kilkoma sposobami.

Można przede wszystkim zastosować większą ilość prętów o mniejszych średnicach a o tej samej łącznej powierzchni przekroju. Stosując bowiem średnicę n razy mniejszą otrzymujemy łączny obwód wkładek n razy większy, co oznacza n -krotne zmniejszenie naprężenia przyczepnego, ale też z drugiej strony musimy zastosować odpowiednio większą ilość wkładek. Takie postępowanie możliwe jest często w płytach, natomiast w belkach tylko w ograniczonej ilości wypadków, a wogóle zwiększa robociznę i komplikuje budowę. Dlatego lepiej jest nieomal zawsze stosować średnice większe, a zwiększyć przyczepność w sposób inny.

Drugim sposobem zwiększenia przyczepności jest zastosowanie wkładek o innym przekroju niż okrągły (kołowy), posiadających tym samym większy obwód. Tą drogą poszedł w Ameryce np. Kahn, stosując moje wkładki o przekroju kwadratowym z dwoma płaskimi występami (które to występujące części ponadto odginał ku podporom pod kątem 45°) i na tę drogę weszły wkładki *Griffela* wyrabiane w Polsce ze stali wyborowej, która według doświadczeń wykonanych w laboratorium Wytrzymałości Materiałów Politechniki Warszawskiej posiada granicę plastyczności średnio 4268 kg/cm²,

*) Mimochodem zaznaczę tu, że również odginanie wkładek bardzo łagodnymi łukami, aczkolwiek teoretycznie najlepsze, a niejednokrotnie nakazywane, jest wogóle zbyteczne, a bardzo podraża robotę.

zaś granicę wytrzymałości zbliżającą się do 7000 kg/cm². Nie wspominam o szeregu typów zagranicznych dawniejszych i późniejszych. Zwiększenie obwodu nie może odbywać się czysto mechanicznie bez wzięcia pod uwagę możliwości ścięcia betonu. Przez nadanie jednak odpowiedniego kształtu uzyskać tu można w wielu wypadkach bardzo dobre wyniki.

Jednakowoż ani jeden ani drugi z obu wyżej podanych sposobów nie pozwalają na opuszczenie haków, gdyż przyczepność zwiększa się tylko odpowiednio do obwodu uzbrojenia, i to z podanym wyżej zastrzeżeniem.

Można wreszcie uzyskać zwiększenie przyczepności przez zmianę przekroju prętów na ich długości. Rzadko stosuje się tu nacinanie śrubowe lub inne prętów na końcach; sposób ten, mogący zastąpić haki, stosowany jest bardzo rzadko i wogóle nieekonomiczny. Znacznie częściej spotyka się na prętach guzy lub żeberka, których celem jest zahaczanie o beton, przez co zwiększa się opór przeciw przesunięciu wkładki. Działanie ich jest do pewnego stopnia podobne do działania, np. zębów lub klinów w złożonych dźwigarach drewnianych. W grę wchodzi tu mechaniczne zazębienie, zaczepienie, t. zw. przyczepność mechaniczną, (ang. mechanical bound). Przyczepność mechaniczna jest znacznie większa od przyczepności we właściwym tego słowa znaczeniu i daje — jak stwierdzają doświadczenia — znacznie więcej niż samo zwiększenie obwodu wkładek.

Na tę drogę weszła wprowadzona ostatnio w Polsce stal grzebieniowa, która polega na tym, że pręt zasadniczo kwadratowy posiada żeberka, rozmieszczone parami naprzemian na dwu sobie przeciwległych bokach *). Wkładki te, podobnie jak i poprzednio wspomniane wkładki *Griffela* wykonane są ze stali wysokowartościowej. Mianowicie miarodajna dla naprężenia dopuszczalnego granica plastyczności wynosi (według wyników badań Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Politechniki Warszawskiej) średnio dla stali grzebieniowej (nieobtoczonej), 4531 kg/cm², gdy dla stali handlowej wynosi ona poniżej 2000 kg/cm². Podobnie wyższa jest granica wytrzymałości, która dla stali grzebieniowej wynosi 7100 kg/cm².

Próbowano uzyskać też ten sam rezultat przy pomocy spawania puszczać poszczególne kropelki odpowiedniej wielkości na pręty okrągłe. Produkcja taka jest jednak droga i może mieć sens tylko w wyjątkowych wypadkach z powodu zbyt wysokiej ceny.

Dla wkładek ze stali wysokowartościowej ma sprawa przyczepności szczególnie doniosłe znaczenie, gdyż oczywiście obwód ich musi być mniejszy z powodu większego napięcia dopuszczalnego na rozciąganie, a tym samym mniejszej średnicy. Tymczasem wprowadzenie stali wyborowych do konstrukcji żelazobetonowych stało się pewnego rodzaju koniecznością ekonomiczną wszędzie, a tak samo i w Polsce. Stosowanie ich z jednej strony opłaca się w największej ilości wypadków w konstrukcjach żelazobetonowych budującym i z drugiej strony powinno być popierane przez państwo,

*) Produkcja profiliów żeberkowych (grzebieniowych) odbywa się w ten sposób, że na ostatnich walcach, przez które przechodzi materiał, nacięte są odpowiednie karby.

gdyż prowadzi do udoskonalenia wytwórczości, oraz do lepszego wykorzystania żelaza *)).

Wprowadzenie stali wyborowych stało się u nas bodźcem do wprowadzenia prętów pozwalających na osiągnięcie większej przyczepności i do zaktualizowania ich u nas. Już przy stali *Isteg* przyczepność w stosunku do żelaza okrągłego jest znacznie większa. Doświadczenie wykonane z nią przez prof. *Hubera* i przezemnie stwierdziły, że przy zginaniu belek żelazobetonowych zbrojonych nią, pęknięcia rozkładają się na całą długość belki, a nie grupują w pewnych miejscach. Stal *Griffel* również dała wyniki wcale korzystne. Specjalnie dobra okazała się jednakowoż stal grzebieniowa, zaopatrzona w żeberka poprzeczne, dzięki którym wchodzi w grę wspomniana przyczepność mechaniczna. Doświadczenia wykonane przez prof. *Paszkowskiego* częściowo przy moim współdziałaniu stwierdziły ją w stopniu bardzo wybitnym.

Badanie przyczepności przeprowadzać można dwojako:

1) Sporządza się walce, względnie kostki betonowe z wbetonowanymi prętami, które się następnie z betonu wrywa odpowiednią siłą, stale mierzoną; przy tym obserwuje się przy pomocy dokładnych czujników pod jaką siłą wrywającą pręt drgnie i zacznie się przesuwac. Jest to sposób najlepszy, gdyż daje wyniki bezpośrednie.

2) Łamie się belki próbne o odpowiednim uzbrojeniu i porównywa z sobą wyniki.

W wyżej wspomnianych doświadczeniach prof. *Paszkowskiego* badana była przyczepność obu wspomnianymi sposobami. W walcach żelazobetonowych były pręty stalowe długości ok. 8 d. Belki próbne miały wymiary poprzeczne 15 × 8 cm, a długość teoretyczną 1,00 m, przy czym wkładki ze stali grzebieniowej wykonano bez haków. Wyniki badań w obu seriach doświadczeń były doskonałe i w ogóle pokryły się z sobą.

Wprowadzenie w grę przyczepności mechanicznej pozwala automatycznie na znaczne zwiększenie ściślej współpracy wkładek z betonem na całej długości wkładek. Oznacza to znacznie ściślejsze dostosowanie się nawet do wymogów teorii, niż przy pręcie okrągłym, w dalszej zaś konsekwencji na skutek tej ściślej współpracy pozwala na zupełne pominięcie haków w prętach.

To opuszczenie haków oznacza doniosłą oszczędność na wadze i na robociznie. Oszczędność na wadze nie da się ustalić ściśle, gdyż jest zależna wybitnie od charakteru konstrukcji. Wynosi jednak dla krótkich prętów niekiedy nawet do 15% i więcej, spadając dla krótkich do 2%. Średnio dla przeciętnej konstrukcji można przyjąć ją wielkości ok. 4%.

Znacznie ważniejsza jest jednak oszczędność na robociznie. Wynosi ona dla prętów prostych niemal 100%, gdyż pręty te poza przecięciem nie wymagają absolutnie żadnej obróbki. Dla prętów odgiętych oszczędność jest oczywiście mniejsza i wynosi średnio do 50%. W ogóle zatem dla całego

uzbrojenia przyjąć można ok. 70—80% *), jako przeciętną oszczędność na robociznie gięcia wkładek w razie opuszczenia haków. Biorąc pod uwagę te wszystkie względy, a także i koszt 1 kg stali handlowej i stali wyborowej, dochodzimy do wniosku, że oszczędność na wkładkach typu żeberkowego (np. stal grzebieniowa) wynosi do 20% kosztów uzbrojenia, czasem nawet więcej.

Do tego dochodzi w dalszym ciągu oszczędność na czasie wykonania, wynikająca ze zmniejszenia robocizny jako korzyść wtórna, oraz korzyści na wygodniejszym rozmieszczeniu wkładek w miejscach większego nagromadzenia ewentualnych haków.

Zaznaczyć należy, że są konstrukcje, w których przyczepność na całej długości gra specjalnie ważną rolę. Należą tu przede wszystkim konstrukcje narażone na wstrząsy i wybuchy w nieokreślonym z góry miejscu, a więc wszelkie konstrukcje przeciwbombowe, jak np. schrony przeciwlotnicze, budowle fortyfikacyjne i t. d.

W tych warunkach zachodzi pytanie, dlaczego stosowano u nas haki, gdy równocześnie w państwach anglosaskich nie były one stosowane, albo też zredukowane do pewnej ilości wypadków.

Powodem tego był przede wszystkim inny stosunek kosztu materiału do kosztów robocizny. W Europie, gdzie robocizna była stosunkowo znacznie tańsza, wykonanie haków nie obciążało w tym stopniu budowy co w Ameryce, gdzie robocizna była bezporównania droższa i gdzie lepiej było stosować nawet droższy materiał za cenę potamienia pracy. Dochodził do tego względ drugi: tendencja zmierzająca do dostosowania konstrukcji do wymogów teoretycznych rozważań, niezawsze racjonalnie ujętych i nieraz przesadzonych w szczegółach, w zasadzie słuszna, ale niejednokrotnie, zwłaszcza przez Niemców egzagerowana. Ten drugi powód sprawiał np., że byli i są konstruktorowie, którzy we wszystkich wypadkach, zawsze i wszędzie domagali się najlepszego teoretycznie, *considerowskiego* kształtu haków i „opływowych” kształtów odgięć, tam nawet, gdzie to było zbyteczne. Amerykanie na subtelności tego rodzaju uwagę zwracali znacznie mniejszą, albo wcale jej nie zwracali, a budowali taniej, a nie gorzej od nas.

Dzisiejsza chwila zbliżyła nas do poglądu amerykańskiego. Wzrost robocizny (ubezpieczenia społeczne i inne powody) w stosunku do okresu zwłaszcza przedwojennego i inflacyjnego zmusza do szukania dróg innych, specjalnie takich, które pozwalają oszczędzić na jej cenie. W konstrukcjach żelazobetonowych do tego celu prowadzi m. in. zastosowanie stali wyborowych, oraz takich ich kształtów, które możliwie zmniejszą robociznę. Stosowanie wkładek okrągłych ze zwykłej stali handlowej przestaje mieć w tych warunkach sens. Do tego celu możliwej oszczędności prowadzi przede wszystkim opuszczenie haków i dla tego specjalnie korzystne są takie wkładki, które to umożliwiają, jak wkładki z żeberkami, a one to powinny znaleźć jak największe rozpowszechnienie.

*) Nawet więcej, jeżeli zastosujemy wyłącznie lub niemal wyłącznie pręty proste, co w ogóle w bardzo znacznej ilości wypadków jest możliwe. Sprawy tej poświęcę oddzielny artykuł.

*) Por. mój artykuł: W sprawie stosowania stali wyborowych w konstrukcjach żelbetowych. *Przeгляд Techniczny* 1937, zes. 14.