

Konstrukcje stalowe i zespolone stalowo-betonowe sprężane

Prof. dr hab. inż. Antoni Matysiak, dr inż. Elżbieta Grochowska,
Uniwersytet Zielonogórski

1. Zasady sprężania konstrukcji

Celem sprężania jest wywołanie w konstrukcji początkowych (wstępnych) naprężeń ściśle określonych i rozłożonych w przekroju elementu w taki sposób, aby zwiększyć nośność ustroju. Znanych jest kilka sposobów wywołania początkowych naprężeń w konstrukcji [1]. Powszechnie stosuje się druty o małych średnicach $\phi 2,5$, $\phi 5$, $\phi 7$ mm i o dużej wytrzymałości na rozciąganie [20]. W wyniku zakotwienia na przykład na końcach konstrukcji belki, po napięciu drutów następuje mimośrodowe ściskanie konstrukcji. W poprzecznym przekroju elementu powstają naprężenia normalne ściskające i rozciągające, zwane naprężeniami wstępnymi czy początkowymi. Rozwiązanie konstrukcyjne tego typu nazywane jest sprężaniem konstrukcji.

W konstrukcjach żelbetowych druty (kable, struny) umieszcza się po rozciągnięciu (podczas eksploatacji) stronie betonu. Wytrzymałość stali na rozciąganie i ściskanie jest taka sama. Z tego względu uzasadnienie stosowania sprężania konstrukcji stalowych, sposobem napięcia drutów, w stosunku do żelbetowych jest słabsze.

W celu zwiększenia efektu sprężania konstrukcji stalowych powstał pomysł sprężania konstrukcji „parą sił”, ograniczając równocześnie lub eliminując ściskanie sprężonego elementu. Doprowadziło to do zgłoszenia w 1966 roku

w Polskim Urzędzie Patentowym wynalazku. Uzyskano patent nr 42836, opublikowany 30.09.1971 r. [10].

Zastrzeżenie patentowe jest następujące: „Sposób wstępnego sprężania budowlanych konstrukcji metalowych, znamienny tym, że element sprężający w postaci swobodnie umieszczonej w konstrukcji jedno- lub wieloprętowej wkładki, w celu wywołania wstępnych naprężeń rozciągających w ściskanych obciążeniem eksploatacyjnym częściach konstrukcji oraz w celu uzyskania efektu sprężania, ściska się, przy czym wkładka przesuwa się pod wpływem sił ściskających tylko wzdłuż własnej osi, przez umieszczenie jej w osłonie”.

2. Badania i publikacje opracowane przez autora patentu

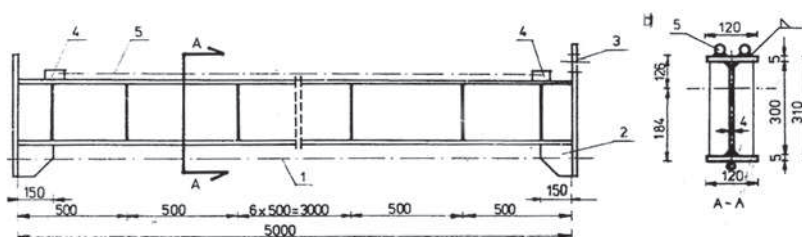
W 1967 roku obroniono pracę doktorską [11] pod tytułem „Sprężanie konstrukcji metalowych przy użyciu wkładek ściskanych”. W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych i rozwiązania teoretyczne. Blachownicę

o rozpiętości 5,00 m, przedstawioną na rysunku 1, sprężono parą sił: napiętym cięgnem i ściśniętą wkładką. Cięgno i wkładkę wykonano z prętów o granicy plastyczności 1470 MPa. Napięcie cięgna wykonano znanym sposobem.

Wkładkę ściskano przy użyciu wciśkanych klinów umieszczonych między elementem stałym i przesuwym, mogącym przemieszczać się wzdłuż osi belki. Zastosowane urządzenie do ściskania wkładki nie w pełni było skuteczne, głównie z powodu zbyt małej twardości stali. Niektóre wyniki badań doświadczalnych i teoretycznych uzyskane w pracy doktorskiej [11] przedstawiono na konferencjach naukowych w Krynicy w latach 1971 [12] i w 1972 [13].

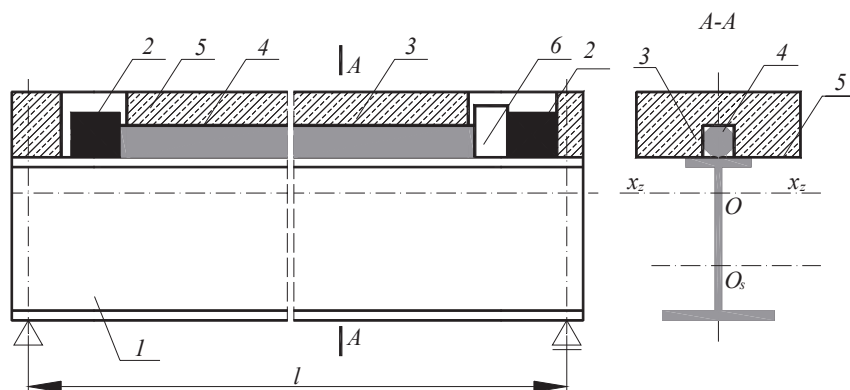
3. Publikacje dotyczące konstrukcji stalowych sprężonych poprzez naciąg cięgien i ściśnięcie wkładki

W roku 1970 A. Razowski przedstawił „Nową propozycję wprowadzania wstępnych naprężeń w konstrukcjach metalowych” [17] i podał numer zgłoszenia zastrzeżenia patentowego P-126690. Treść

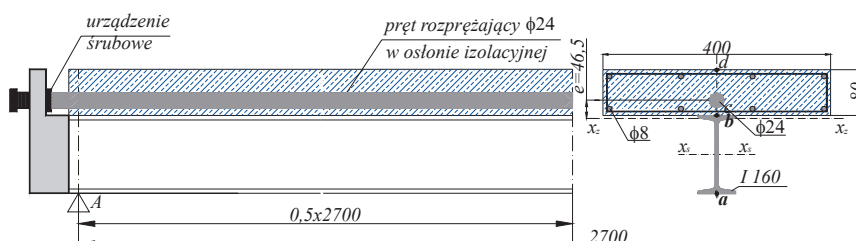


Rys. 1. Model belki według [11]

Rys. 2. Schemat belki zespolonej stalowo-betonowej:
1 – element stalowy,
2 – przytwierdzone elementy bloku-
jące, 3 – osłona izolacyjna, 4 – pręt
ściskany, 5 – mieszanka betonowa,
6 – element dystansowy



Rys. 3. Widok z boku i przekrój poprzeczny badanej belki zespolonej



w zastrzeżeniu zgłoszenia patentowego pokrywa się z treścią zastrzeżenia uzyskanego patentu [10]. Ostatecznie A. Razowski uzyskał wzór użytkowy na ściskany element sprężający wykonany z rury. W pracy doktorskiej [18] przyjęto następujące określenie dotyczące sprężania konstrukcji poprzez ściskanie elementu: „wprowadzenie wstępnych naprężeń w zginanych dźwigarach stalowych za pomocą elementów sztywnych”.

Inne publikacje, to: [2], [6], [7], [8], [9], [16], [19], dotyczące sprężania sposobem zgodnym z treścią zastrzeżenia patentowego [10]. W 1980 roku E. Lubieniecki i J. Strzelecki [6] zastrzeżony sposób sprężania zaczynają określać jako sprężano-rozprężany. Powtarzają to określenie autorzy we wszystkich powstających publikacjach. Rozprężyć można to, co zostało wcześniej sprężone! Konstrukcja została sprężona po to, aby zwiększyć jej nośność, a nie po to, aby ją odprężyć, czyli zlikwidować sprężanie. Wywołanie w konstrukcji naprężeń początkowych nazwano sprężeniem konstrukcji. Wywołanie naprężeń początkowych w wyniku ściskania specjalnych elementów jest również sprężaniem kon-

strukcji. W wyniku równoczesnego wykonania zabiegu polegającego na napięciu cięgien i na ściśnięciu specjalnego elementu, następuje sprężanie konstrukcji parą sił, równych lub nieznacznie różniących się. Poprzez ściśnięcie specjalnego elementu, odpowiednio wbudowanego w konstrukcję, wywołuje się w przekroju poprzecznym naprężenia wstępne, równocześnie ścisnące i rozciągające, podobnie jak w przypadku tylko napięcia cięgien.

Od czasu zgłoszenia do Urzędu Patentowego zastrzeżenia (1966 r.) patentowego i uzyskania patentu powstały 3 prace doktorskie i wiele publikacji. Żaden z autorów nie dostrzegł obowiązku powołania się na polski patent i zgodnie z zastrzeżeniem, określić sens operacji sprężania. Łatwiej było wymyślić sztuczne określenie nazywane rozprężaniem, zamiast rzetelnie podać zjawisko fizyczne, według patentu.

W pracy [11] podjęto próbę opracowania skutecznego sposobu wywołania sił ścisnących w elemencie mającym wywołać w konstrukcji naprężenia początkowe. Zastosowane rozwiązanie okazało się nie w pełni skuteczne.

W opublikowanych licznych opracowaniach zajmowano się zagadnieniami teoretycznymi, pomijając techniczną możliwość realizacji sił wywołujących naprężenia wstępne siłą mimośrodowo rozciągającą.

4. Konstrukcje sprężane stalowo-betonowe

W konstrukcjach zespolonych stalowo-betonowych, beton znajduje się w ściskanej strefie konstrukcji. Duża różnica w wytrzymałościach betonu i stali oraz duży ciężar stały betonowej części konstrukcji może decydować o racjonalności takiego rozwiązania konstrukcyjnego, które zmniejszy naprężenia ścisnące w betonie wywołane obciążeniem stałym. Można to zrealizować, po umieszczeniu pręta o dużej wytrzymałości w strefie betonowej i po zabezpieczeniu przed przyczepnością betonu, wykonać część betonową konstrukcji zespolonej. Po zainstalowaniu urządzenia do ściskania, przystąpić do ściśnięcia pręta. Rozwiązanie urządzenia umożliwiającego ściśnięcie pręta zgłoszono 21.10.2002 r. do Urzędu Patentowego. Patent nr 198583 został udzielony 30.06.2008 r. [5].



Rys. 4. Rozwiązanie konstrukcyjne belki zespolonej: a) widok belki zespolonej, b) widok śrubowego urządzenia sprężającego

Na rysunku 2 przedstawiono schemat konstrukcji zespolonej z koncepcją rozwiązania umożliwiającego wywołanie siły ściskającej.

Badania doświadczalne belki zespolonej stalowo-betonowej z naprężeniami początkowymi wywołanymi ściśniętym prętem wykonano w ramach pracy doktorskiej [4].

Zakres przeprowadzonych badań doświadczalnych został uwarunkowany posiadanymi skromnymi środkami. Z tego względu ograniczono się do wykazania, że przyjęte w rozważaniach teoretyczne założenia, związane z oddziaływaniem tej siły na konstrukcję, i uzyskane wyniki są zgodne z założeniami teoretycznymi.

Zaprojektowano i wykonano belkę zespoloną swobodnie podpartą, o długości 2700 mm. Należy zaznaczyć, że wymiary modelu były na tyle duże, że można było je uznać jako wykonane w skali naturalnej.

Rozwiązanie konstrukcyjne modelu zamieszczono na rysunku 3 oraz na zdjęciach (rys. 4). Konstrukcję zasadniczą stanowi dwuteownik walcowany I 160, wykonany ze stali St3S. Płyta betonowa zbrojona prętami $\phi 8$ mm, ze stali 34GS i wykonana z betonu klasy B15. Strzemiona wykonano ze stali St3S, z prętów o średnicy $\phi 4,5$ mm. Elementy zapewniające zespolenie płyty z dwuteownikiem wykonano z śrub $\phi 20$ mm. W pły-

cie betonowej został umieszczony pręt ściskany $\phi 24$ mm ze stali o wytrzymałości $R_m = 858$ MPa. Pręt ściskany owinięto czterokrotnie taśmą izolacyjną w celu zabezpieczenia przed przyczepnością do betonu. Ściśnięcie pręta realizowano za pomocą urządzenia śrubowego, które wykonano ze śruby M30 kl. 8.8, z nakładką na stałe zamocowaną do konstrukcji oporowej. Urządzenie śrubowe zamocowano do jednego końca belki stalowej (rys. 4b). Do drugiego końca zamocowano blok oporowy.

Podczas przeprowadzonych badań doświadczalnych, konstrukcja zachowała się zgodnie z przewidywaniami i założeniami teoretycznymi. Dotyczy to obciążeń zewnętrznych jak i oddziaływania ściskanego pręta. Sprawnie działającym okazało się również urządzenie służące do wywołania siły ściskającej pręt, oddziałującej na konstrukcję w sposób zamierzony.

Głównym celem badań belki zespolonej stalowo-betonowej w zakresie sprężystym była weryfikacja doświadczalna założeń teoretycznych obliczenia konstrukcji zespolonych z wywołanymi naprężeniami początkowymi.

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych można stwierdzić, że istnieje możliwość wprowadzenia sił rozciągających

konstrukcję zespoloną stalowo-betonową, bez uszkodzenia konstrukcji. Wstępne badania konstrukcji zespolonej w zakresie pracy sprężystej wykazały dużą zgodność wyników doświadczalnych z założeniami teoretycznymi. Dotyczy to zarówno naprężeń jak i ugięć.

Zastosowane urządzenie śrubowe do mimośrodowego rozciągania konstrukcji zespolonej stalowo-betonowej działało skutecznie, zgodnie z przewidywaniami. Zatem potwierdza się możliwość stosowania konstrukcji zespolonych z wywołanymi naprężeniami początkowymi.

Opisane badania zostały wykonane prostymi środkami i w wąskim zakresie. Mimo, że potwierdzono możliwość wprowadzenia do konstrukcji zespolonej wstępnych naprężeń rozciągających, poprzez zastosowanie techniki ściskanego pręta, to przeprowadzone badania można uznać jedynie jako wstępne. Celem uzyskania pełnego kompleksowego rozwiązania zagadnienia powinny być prowadzone dalsze badania z uwzględnieniem rozwiązań technicznych umożliwiających skuteczność wywołania sił oddziaływających na konstrukcję, z uwzględnieniem wpływu zjawisk reologicznych, utraty stateczności miejscowej i innych zjawisk związanych z badaną konstrukcją.

BIBLIOGRAFIA

[1] Bródka J., Klobukowski J., Sprężone konstrukcje stalowe, Warszawa, 1965
 [2] Boryczko M., Piekarczyk M., Efektywność rozprężania belek stalowych w świetle wykorzystania nadkrytycznej rezerwy nośności, „Inżynieria i Budownictwo”, 4/2008
 [3] Grochowska E., Matysiak A., Zespólna belka rozprężana w ujęciu badań doświadczalnych, teoretycznym i numerycznym, Konferencja Naukowa „Konstrukcje Zespólone”, Zielona Góra 2005
 [4] Grochowska E., Zastosowanie wkładek ściskanych w rozprężaniu konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych, Praca doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 2003
 [5] Grochowska E., Matysiak A., Patent PL 198583 „Sposób rozprężania zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych”, Zgłoszenie 12.04.2001, Udzielenie patentu 30.06.2008
 [6] Lubieniecki E., Strzelecki J., Wytrzymałość belek stalowych sprężano-rozprężanych w świetle badań modelowych, „Inżynieria i Budownictwo”, nr 4/1980
 [7] Lubieniecki E., Strzelecki J., Sztywność stalowych belek sprężano-rozprężanych w świetle badań modelowych, Materiały Konferencji Naukowej „Konstrukcje

szkieletowe w budownictwie miejskim”, tom II, Bydgoszcz, 1980
 [8] Lubieniecki E., Strzelecki J., Stalowe ramownice kratowe wstępnie sprężone, III Konferencja Naukowa „Konstrukcje szkieletowe w budownictwie ogólnym i przemysłowym”, Bydgoszcz, listopad 1982
 [9] Lubieniecki E., Strzelecki J., Optymalne dwuteowe stalowe belki sprężano-rozprężane, „Inżynieria i Budownictwo”, nr 8/1983
 [10] Matysiak A., Patent nr 428336 „Sposób wstępnego sprężania konstrukcji metalowych” Zgłoszono w 1966 roku
 [11] Matysiak A., Sprężanie konstrukcji metalowych przy użyciu wkładek ściskanych, Praca doktorska, Politechnika Poznańska, 1967
 [12] Matysiak A., Nowy sposób i teoretyczne podstawy wprowadzania wstępnych naprężeń w konstrukcjach metalowych, XVII Konferencja Naukowa Kom. ILiW PAN i Kom. Nauki PZITB, Krynica 1971
 [13] Matysiak A., Teoria i wyniki badań ściskanego wiotkiego pręta zabezpieczonego przed wyboczeniem ciągną obudową, XVIII Konferencja Naukowa Kom. ILiW PAN i Kom. Nauki PZITB, Krynica 1972
 [14] Matysiak A., Metalowe konstrukcje sprężane ciągnami i ściskanymi wkładkami, Monografia, WSInz., Zielona Góra, 1985

[15] Matysiak A., Porębski W., Analiza pracy belek o przekroju niesymetrycznym sprężonych ciągnami i ściskanymi wkładkami, „Inżynieria i Budownictwo” nr 2/86
 [16] Mendera Z., Razowski A., Regulowanie naprężeń w konstrukcjach metalowych, Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej „Konstrukcje metalowe”, Warszawa 1974
 [17] Razowski A., Nowa propozycja wprowadzania wstępnych naprężeń w konstrukcjach metalowych, Materiały IV Konferencji Naukowej „Konstrukcje metalowe”, Warszawa 1970
 [18] Razowski A., Wprowadzenie wstępnych naprężeń w zginanych dźwigarach stalowych za pomocą elementów sztywnych, Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1973
 [19] Razowski A., Piekarczyk M., Nośność stalowych dwuteowych belek rozprężanych „Inżynieria i Budownictwo”, nr 5/1982
 [20] PN-B-03264 Konstrukcje betonowe

**zbyt skomplikowane?
podejdź do tego pragmatycznie**

Masz wrażenie, że aby zintegrować wszystkie narzędzia wspomagające płynność i zarządzanie należnościami powinieneś zatrudnić sztab finansistów?

Aby dowiedzieć się, jak prosto i skutecznie zarządzać należnościami oraz zapewnić swojej firmie optymalną płynność, wejdź na www.pragmatycznie.pl

pragmatycznie.pl

PRAGMA INKASO | PRAGMA FAKTORING | PRAGMA TYTUŁY

zescanuj QR CODE aby otrzymać więcej informacji