

Das Richten von Stahlbauwerken durch gezielt aufgeschweißte Verstärkungslaschen

Dzik, S.; Siemieniec, A.; Wolny, S.

An der Bergakademie AGH Kraków wurden auf statistischen Untersuchungen basierend die Einsatzmöglichkeiten und Berechnung von Schweißrichtmethoden im Stahlbau untersucht. Das Ziel war die Vorausberechnung von angeschweißten Verstärkungslaschen und deren Schweißnahtlage zur Rückverformung von plastischen Deformationen im Krananlagenbau.

This article describes the possibilities of welding straight methods in steel manufacture using metal sheets and load carriers for reinforcement purposes. A calculation method considering the shape of the used sheets and the position of the welding seams has been derived to correct the plastical deformations of crane structures. All the statistical investigations have been carried out by the university AGH Kraków

1 Einführung

Bei manchen Brückenkränen mit geschweißten Trägern oder Kranbahnträgern von Portalkränen beobachtet man die Entstehung von bleibenden Formänderungen dieser Elemente in Form vertikaler und horizontaler Durchbiegung.

Diese Durchbiegungen wachsen mit der Betriebszeit der Kraneinrichtungen an. Anfangs ist das Anwachsen der Durchbiegungen relativ schnell, nach einigen Jahren des Betriebs verlangsamt sich dagegen dieser Prozeß. Beispiele, die diesen Prozeß bei den Hakenkränen zeigen, sind in **Bild 1** dargestellt. Ähnliche Erscheinungen werden während des Betriebes von Magnet- und Greiferkräne beobachtet.

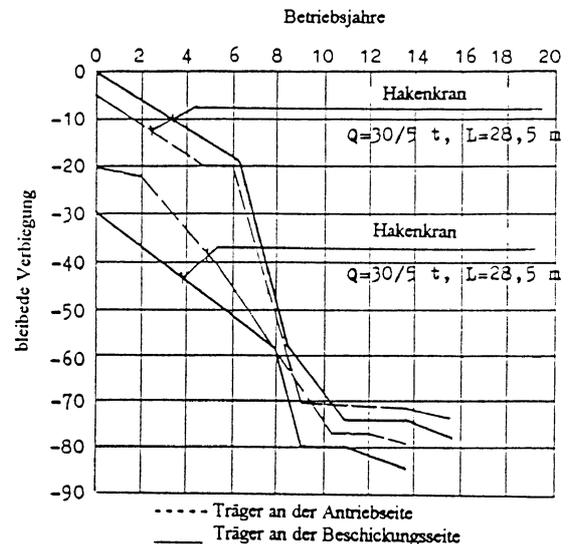


Bild 1: Diagramm des Anwachsens der bleibenden Verbiegung für zwei Hakenkräne in einer Eisenhütte

Manche in Betrieb befindliche Kräne haben Durchbiegungen auch in der Horizontalebene. Die Diagramme in **Bild 1** wurden anhand der Arbeitsanalyse der in der Sendzimir Eisenhütte betriebenen Kräne entwickelt. Diese Analyse wurde im Rahmen der Arbeit für CPBR durch das Institut für Grundmaschinenbau der AGH Kraków durchgeführt /9/.

Die Ursachen des Anwachsens der bleibenden Formänderungen sind nicht vollständig bekannt, weil dafür sehr viele Faktoren verantwortlich sind. Die statistischen Untersuchungen zeigen, daß die Ursachen folgende sein können:

- Spannungsrelaxation (besonders in der Anfangsphase des Betriebs)
- Ausbesserungsarbeiten, bei denen Schweißarbeiten erforderlich sind (bei Gleisaustausch)
- Überlastung der Kräne (über die normative Tragfähigkeit hinaus)

Die Verstärkung der Kastenträger durch die Verschweißung mit zusätzlichen Verstärkungslaschen gibt die Möglichkeit, die Null-Biegepeiler bei den Trägern zurückzugewinnen, die die bleibenden Formänderungen besaßen /1,3,4,5/.

Die Methode der Beseitigung der vertikalen Verbiegung wurde durch OBR Detrans Bytom und IPBM Krakow in der Industrie eingeführt ("Jednosc" Hütte und Sendzimir Hütte) /2,8/.

In dem Bericht wurden Methoden der Zurückgewinnung der ursprünglichen Form bei den Trägern und Kranbahnträgern dargestellt, die während der Betriebszeit der Kräne oder Kranbahnen entstanden sind. Der Gegenstand der Analyse sind also Kastenträger der Brückenkräne oder Kranbahnträger, deren bleibende Formänderungen in **Bild 2** zu sehen sind.

Die Ausgleich der Verbiegungen der deformierten Kastenträgern wird durch die Anordnung der Schweißnaht in der entsprechenden Höhe und in der entsprechenden Entfernung von ihrem Schwerpunkt bei dem Querschnitt durchgeführt.

Für die Berechnung der Verbiegung der Schweißnaht oder der Schweißnähten benutzt man die Formel, die von M. Mysliwiec vorgeschlagen wurde /7/, für frei gelagerte Balken der Spannweite L.

$$f = \frac{\mu \cdot q_l \cdot L^2 \cdot y_{sr}}{8 \cdot I_{xI}} \quad (1)$$

mit:

μ - Faktor von den Schweißparametern abhängig, $\mu = 3,53 \cdot 10^6$ [cm³/cal],

q_l - Linienergie der Kehlnaht, $q_l = 14000 a^2$ [cal/cm],

y_{sr} - mittlere Entfernung der Schweißnähte von dem Schwerpunkt des Querschnittes [cm],

I_{xI} - Moment der Trägheit des Querschnittes des Trägers mit Berücksichtigung der Laschen [cm⁴],

L - Trägerspannweite [cm].

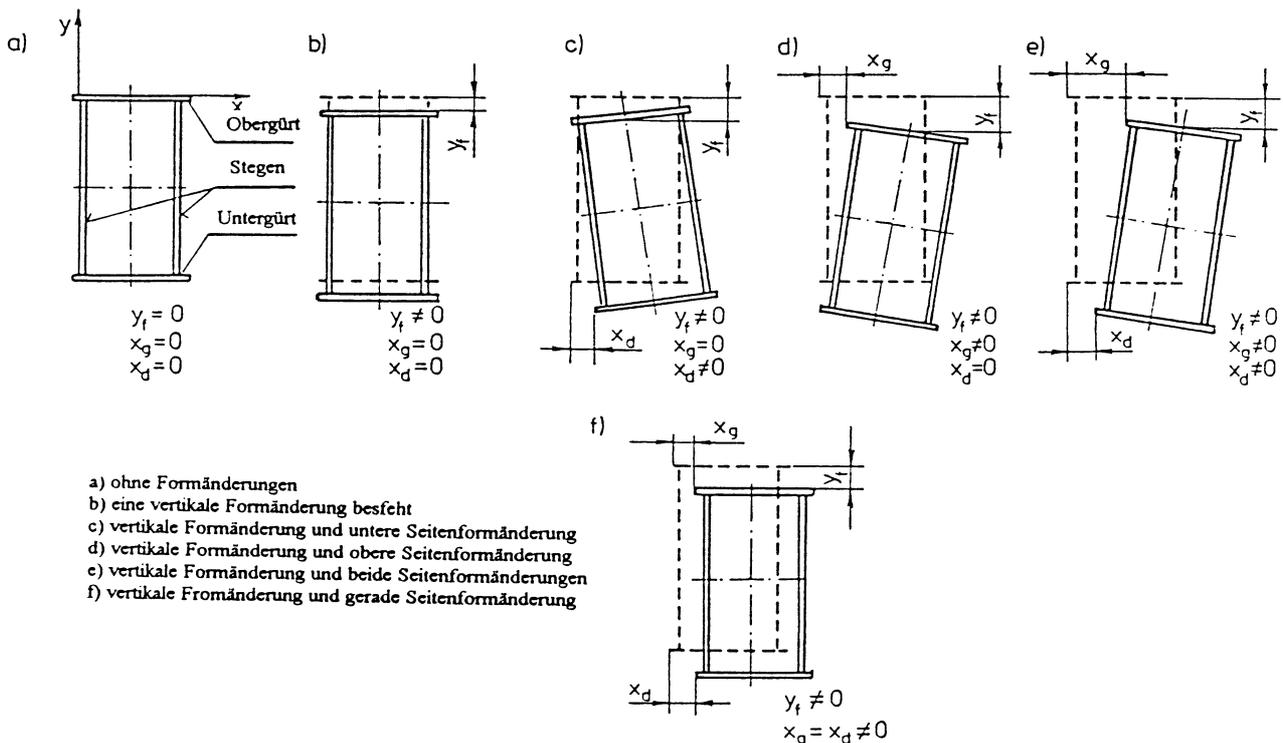


Bild 2: Fälle der Formänderung der Kastenträger

2 Ausgleich der Trägerverformungen bei bleibenden vertikalen Formänderungen

In den meisten Fällen besitzen die Kastenträger die bleibenden vertikalen Verbiegungen in der Form b) auf **Bild 2**. Je nach der Größe dieser Verbiegungen kann der Ausgleich in einer oder zwei Stufen durchgeführt werden. Bei der Einstufen-Methode der Beseitigung der Verbiegungen werden je zwei Seitenlaschen (**Bild3**) aufgeschweißt, wenn aber die Verbiegungen groß sind, soll man den Ausgleich in zwei Etappen durchführen, indem man in der zweiten Etappe noch eine Unterlasche, die sich unter dem Untergurt befindet, anschweißt. Für typische Kastenträger ist die Länge der Laschen l kleiner als die Trägerspannweite L. Dieses Verhältnis beträgt

$$l/L \approx 0, \tag{2}$$

Die oben genannte Abhängigkeit soll in der Formel (1) berücksichtigt werden. Damit der Ausgleich des Elements erfolgt, soll der Biegebetrag f, der von der Schweißung kommt, der bleibenden Formänderung y_f gleich. Nach der Erfüllung der oben genannten Bedingung und der Nutzung der Abhängigkeit (2), kann man die Höhe einer der vier Kehlnähte berechnen, die es erlaubt, in einer Etappe die ursprüngliche Form des Trägers zurückzugewinnen.

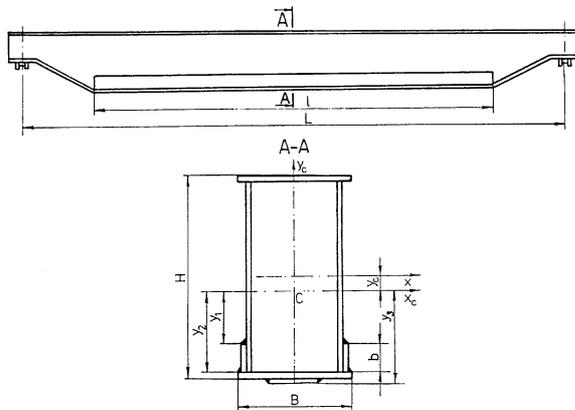


Bild 3: Querschnitt des Trägers samt den vorgeschlagenen Verstärkungs-laschen, die ermöglichen, die vertikalen Verbiegungen auszugleichen

Diese Höhe läßt sich wie folgt berechnen:

$$a = 7,1 \sqrt{\frac{y_f \cdot I_x}{L^2 \cdot y_{sr}}} \text{ [cm]} \tag{3}$$

Im Fall der Zweistufen-Methode, die mit der Schweißung der Unterlasche begonnen wird, berechnet sich die Höhe einer der zwei Schweißnähte mit Hilfe folgender Formel:

$$a_I = 10 \sqrt{\frac{y_{fII} \cdot I_{xII}}{L^2 \cdot y_{srI}}} \text{ [cm]} \tag{4}$$

Den übrigen Teil der bleibenden Verbiegung gleichen man in der zweiten Stufe aus, indem die Seitenlaschen zusammengeschweißt werden mit vier zusätzlichen Schweißnähten der Höhe:

$$a_{II} = 7,1 \sqrt{\frac{y_{fII} \cdot I_{xII}}{L^2 \cdot y_{srII} \cdot m_\beta}} \text{ [cm]} \tag{5}$$

mit:

y_{fII} - übriger Teil der bleibenden Verbiegung
 $y_{fII} = y_f - y_{fI}$ [cm],

y_{fI} - Die in der ersten Etappe abgeglichenen Verbiegung [cm],

I_{xI} , I_{xII} - das Trägheitsmoment mit Berücksichtigung der Laschen in der ersten und zweiten Etappe [cm⁴],

y_{srI} , y_{srII} - mittlere Entfernungen der Schweißnähte von dem Schwerpunkt in der ersten und zweiten Etappe [cm],

m_β - Faktor, der den Einfluß der Vorspannungen bestimmt, von $b = \Delta_0/\epsilon_e$, abhängig,

Δ_0 - Vorspannungen an der Stelle der Schweißnaht in der zweiten Etappe

$$\Delta_0 = \left(\frac{1}{A_I} + \frac{y_{srI} \cdot y_2}{I_{xI}} \right) \cdot \mu \cdot q_I \cdot n \tag{6}$$

n - Anzahl der Schweißnähte

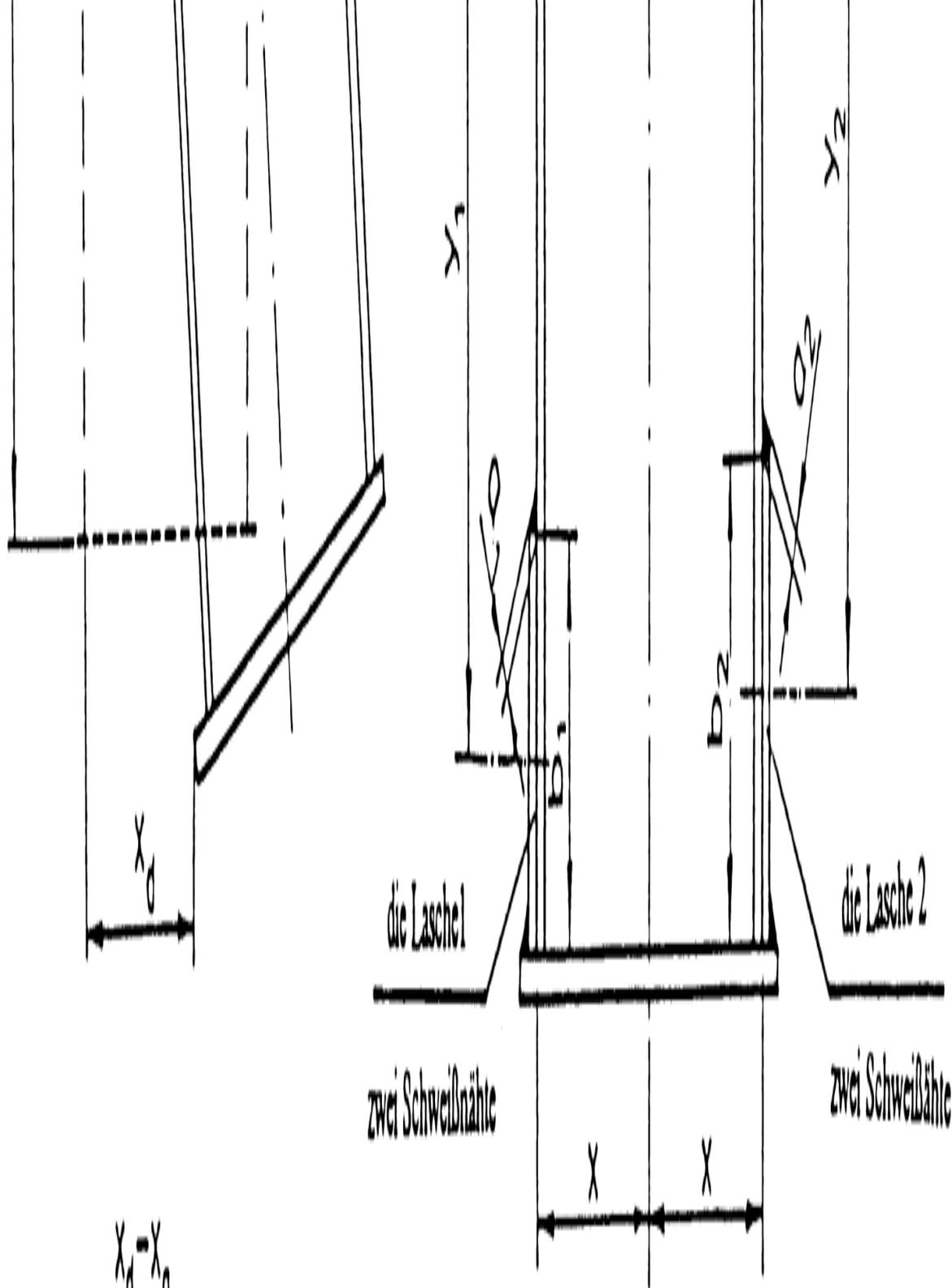
ϵ_e - Formänderung an der Dehngrenze - für Baustahl $\epsilon_e = 12 \cdot 10^{-4}$

Der Wert des Faktors m_β kann annehmen /7/:

$$m_\beta = 1 - \beta \text{ für } 0 < \beta < 1$$

$$m_\beta = 1 - 2\beta \text{ für } -0,5 < \beta < 0 \tag{7}$$

$$m_\beta = 4\beta \text{ für } -0,75 < \beta < -0,5$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_d - x_g}{\frac{h}{2} - y_2}$$

Bild 4: Der untersuchte Fall der Formänderung des Trägers in der Vertikal- und Horizontalebene

$$\begin{aligned}
 f_{y1} + f_{y2} - f_{y3} &= y_f \\
 f_{x2} + f_{x3} - f_{x1} &= \frac{x_d + x_g}{2} \\
 f_{y1} &= f_{y2} - f_{y3} \\
 f_{x3} &= \frac{x_g}{2}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Indem das Gleichungssystem (11) und die Formel für die Berechnung der Verformungen (1) durch die Schweißnahtschwindung gekoppelt werden, erhält man folgende Abhängigkeiten:

$$\begin{aligned}
 y_f &= 2 \cdot f_{y1} = 0,02 \frac{L^2 \cdot y_1 \cdot a_1^2}{I_{xl}} \\
 a_1^2 \cdot y_1 &= a_2^2 \cdot y_2 - 2 \cdot a_3^2 \cdot y_3 \\
 x_g &= 0,01 \frac{L^2 \cdot x \cdot a_3^2}{I_{yl}} \\
 x_d &= 0,02 \frac{L^2 \cdot x}{I_{yl}} (a_2^2 - a_1^2)
 \end{aligned} \tag{12}$$

In oben genannten Formeln sind folgende Unbekannte: a_1 , a_2 , a_3 , y_1 , y_2 , und y_3 . Dem gegenüber stehen vier Gleichungen, so daß zwei Größen der geometrischen Ausmaße des Trägers (y_1 und y_3) frei sind.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{h}{2} - y_c - \frac{b_1}{2} \text{ [cm]} \\
 y_3 &= \frac{h}{2} + y_c \text{ [cm]}
 \end{aligned} \tag{13}$$

Der Reihe nach können die Größen a_1 , a_2 , a_3 , und y_2 berechnet werden, dabei werden die Größen y_1 und y_3 als bekannt angenommen.

$$\begin{aligned}
 y_2 &= \frac{I_{xl} \cdot y_f \cdot x + 2 \cdot I_{yl} \cdot x_g \cdot h}{I_{xl} \cdot y_f + I_{yl} \cdot x_d \cdot y_1} \\
 a_3 &= \frac{10}{L} \sqrt{\frac{I_{yl} \cdot x_g}{x}}
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 7,1 \sqrt{\frac{y_x \cdot y_{xl}}{L^2 \cdot y_1}} \\
 a_2 &= \sqrt{\frac{a_1^2 \cdot y_1 + a_3^2 \cdot y_3}{y_2}}
 \end{aligned}$$

4 Schlußfolgerungen

Anhand der theoretischen Analyse als auch der durchgeführten praktischen Experimente an wirklichen Objekten kann man folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Die bisherige Praxis hat bestätigt, daß man die besprochene Methode zum Ausgleich der vertikalen Verbiegungen, die bis zu 70 mm reichen, verwenden kann.
2. Theoretisch ausgezeichnete Parameter der Schweißnähte erlauben es, die Deformationen der Elemente zu gewinnen, die praktisch die bleibenden Verbiegungen beseitigen, wobei die Genauigkeit für praktische Ziele ausreichend ist.
3. Gleichzeitige Korrektur der Verbiegungen in der Vertikal- und Horizontalebene kann man durch die entsprechende Auswahl der Höhen der Schweißnähte und deren Entfernungen von dem Schwerpunkt des Querschnittes durchführen, ausgewählt je nach der angenommenen Methode.

5 Zusammenfassung

Das wesentliche Problem bei dem Betrieb der Brückenkräne sind die bleibenden Verformungen der Tragelemente wie z.B. Kastenträger oder Kranbahnträger. Mit Hilfe der Schweißrichtmethode, bei der man Laschen an den Kastenträger des Brückenkrans anschweißt, kann man die ursprüngliche Form dieses Trägers zurückgewinnen. In diesem Bericht wurden Möglichkeiten des Ausgleichs der bleibenden Formänderungen dargestellt. Den Ausgleich kann man bei den Tragbalken, die bleibenden Formänderungen in der Vertikal- und Horizontalebene besitzen, durchführen. Es wurden verschiedene Varianten der Durchführung dieses Prozesses dargestellt, je nach der Art und Größe der bleibenden Formänderung.

6 Literatur

- /1/ Blum, A.; Dzik, S.; Siemieniec, A.: Regeneracja trwale odkształconych skrynkowych dźwigarów suwnic pomostowych. Zeszyty Naukowe AGH. Mechanika 21, Kraków 1989, str. 71-79.
- /2/ Blum, A.; Dzik, S.; Gallos, A.: Metoda spawalniczego spreżania trwale odkształconych dźwigarów suwnic pomostowych. Zeszyty Naukowe AGH. Mechanika T. 13, z. 13, Kraków 1994, str. 303-310.
- /3/ Dzik, S.; Obrzud, K.; Wolny, S.: Wpływ spreżania na stan naprężenia i odkształcenia skrynkowego dźwigarów suwnic. Zeszyty Naukowe AGH. T. 13, z. 4, Kraków 1994, str. 508-519.
- /4/ Dzik, S.; Obrzud, K.: Spreżanie dźwigarów skrynkowych suwnic pomostowych odkształconych poprzecznie i posiadających trwałe ugięcie pionowe. IX Konferencja Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, z. II Zakopane 1996, str. 55-62.
- /5/ Dzik, S.; Obrzud, K.: Zagadnienie spreżania dźwigara skrynkowego suwnicy w przypadku trwałego odkształcenia pionowego, poprzecznego oraz obrotu przekroju. X Konferencja Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, z. I Zakopane 1997, str. 89-96.
- /6/ Gallos, M.: Opracowanie podstaw teoretycznych wyrównania trwałych ugięć dźwigarów suwnic pomostowych; Praca OBR "Detrans" nr BP-481044; 1985.
- /7/ Myśliwiec, M.: Ciepłno-mechaniczne podstawy spawalnictwa; Warszawa WNT; 1972.
- /8/ Praca zbiorowa. Technologia regeneracji trwale odkształconych mostów suwnic skrynkowych i belek podsuwnicowych; CPBR 13.2 etap 1, 2, 3, 4 i 5 IPBM AGH; 1990.