

## Badania elementów usztywniających konstrukcje wsporcze ścian osłonowych Investigations of elements bracing the bearing structure of the curtain walls

Jan Gierczak<sup>1</sup>, Rajmund Leszek Ignatowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Cathedra of Metal Structures,  
Institute of Building, Department of Building, Wrocław University of Technology  
Pl. Grunwaldzki 11, Wrocław  
e-mail: [jan.gierczak@pwr.wroc.pl](mailto:jan.gierczak@pwr.wroc.pl)  
e-mail: [rajmund.ignatowicz@pwr.wroc.pl](mailto:rajmund.ignatowicz@pwr.wroc.pl)*

### Streszczenie

Przedstawione w niniejszym opracowaniu konstrukcje wsporcze pod lekką obudowę ścian osłonowych były realizowane w ramach projektu unijnego „Innowacyjne elementy konstrukcji i obudowy nowoczesnych, energooszczędnych obiektów budowlanych”. W ramach tego projektu zrealizowano szereg badań doświadczalnych i teoretycznych [5,6]. Na tej podstawie firma Adamietz sp. z o.o. wdrożyła zaproponowane rozwiązania do swojej oferty. Przedstawiono projekty nowych elementów łączących profile z główną konstrukcją oraz nowych akcesoriów do systemu obudowy hal tj. usztywnienia rygli ściennych. Podane rozwiązania były konsultowane i testowane z możliwościami technicznymi Zakładu Produkcyjnego. Celem opracowania było zaprojektowanie i opracowanie nowych akcesoriów do lekkiej obudowy. Zaprojektowano i opracowano m.in. elementy usztywniające rygle ścienne. Opracowano nowe elementy profilowane na zimno połączone bez użycia łączników tj. wkrętów, nitów itp., a realizowane przez przetłoczenia.

### Abstract

The bearing structure of the lightweight covering of curtain walls, herein presented, have been implemented within the framework of the EU project “Innovative elements of structure and covering of modern, energy – efficient building”. Under this project a number of experimental and theoretical investigations were carried out [5,6]. On this basis the Adamietz Firm Limited implemented proposed solutions in its offer. Designs of the new elements connecting profiles with the main structure and new accessories for hall’s covering system i.e., bracing of the wall girts were introduced. The given solutions were consulted and tested due technical capability of the Production Plant. The purpose of the study was to create new accessories for the lightweight covering. Among others the elements bracing the wall girts were developed. New cold-formed profiles connected without the use of screws and rivets, but by knockouts were developed.

*Słowa kluczowe: konstrukcje metalowe, badania, elementy profilowane na zimno*

*Keywords: steel structures , testing, cold-formed members*

### 1. Wstęp

Podstawowymi elementami nośnymi obudów ściennych i dachowych hal są stalowe, powlekane tworzywami sztucznymi blachy trapezowe pierwszej i drugiej generacji o grubościach 0,55 – 1,50 mm oraz zimnogięte ocynkowane płatwie dachowe i rygle ścienne. Płatwie i rygle ścienne to najczęściej profile o przekroju Z, C lub  $\Sigma$ . Rygle ścienne są z reguły belkami jednoprzęsłowymi, wzmocnionymi w płaszczyznach pionowych systemem cięgien z prętów o średnicy 6-12mm oraz prętami, które przedstawiono poniżej.

Elementy profilowane na zimno najczęściej znajdują się w klasie 3 lub 4. Należy je projektować zgodnie z normą PN-EN 1993-1-3:2008. Z normy tej możemy korzystać dla kształtowników profilowanych z blach o grubości od 0,45mm do 15mm. Do wytworzenia tych elementów wykorzystuje się do tego celu spawalne drobnoziarniste stale konstrukcyjne po walcowaniu normalizującym (+N) lub termomechanicznym (+M). Dzięki termomechanicznemu walcowaniu uzyskuje się dla stali +M mniejsze średnice ziaren krystalicznych, a zatem dla osiągnięcia takich samych parametrów wytrzymałościowych

### 1. Introduction

The basic members of the covering and bearing structure of the walls and roof of industrial building are corrugated sheets of first and second generation with thickness 0,55-1,50mm, connected with cold-formed galvanized roof purlins and wall girts having Z, C or  $\Sigma$  cross section. The wall girt are single – span beams, strengthened in the vertical planes by sag-rods with a diameter of 6-12mm and extra bars described below.

The cold-formed members belong mostly to the 3 and 4 class and they should be designed due to the standard PN-EN 1993-1-3:2008 for the members profiled from sheet with thickness 0,45mm-15mm. The members are fabricated from weldable, fine-grained structural steel after normalizing (+N) or thermo mechanical (+M) rolling, that allows to reach smaller diameter of crystal grains for steel +M. Thus, the same strength parameters may be reached for steel +M using a smaller alloy additions or smaller amount of carbon, which lowers the value of carbon equivalent and improves the steel weldability. The rest of physical features with the delivery +N

można w przypadku stali +M stosować mniej dodatków stopowych lub mniej węgla, co wpływa na obniżenie wartości równoważnika węgla i polepszenie spawalności metalurgicznej tej stali. Pozostałe cechy fizyczne stali z dostawą +N i +M nie ulegają zmianie.

Nośność przekroju wyznacza się redukując ściskane pólki wg teorii szerokości współpracującej Wintera w zależności od smukłości pólki i naprężeń panujących w danym przekroju. Rozróżniamy pracę w stanie krytycznym i w stanie nadkrytycznym. W stanie krytycznym rozkład naprężeń jest liniowy, natomiast w stanie nadkrytycznym rozkład ten jest nieliniowy. Spowodowane jest to lokalnym wyboczeniem pólki ściskanych. Sposób redukcji przekroju oraz zasady obliczeń podają m.in. autorzy [1-6].

## 2. Badania elementów usztywniających

Dla zadanych i opisanych schematów statycznych badano poszczególne elementy konstrukcji wsporczej. Opracowano nowe elementy tj. słupki ściskane. Słupki są wykonane z blachy ocynkowanej i profilowane na zimno. Dodatkowo wprowadzono słupki połączone z kątownikami za pomocą nitów stalowych lub przetłoczeń. Przetłoczenia wykonuje się na prasie i polegają na przyłożeniu odpowiedniej siły w celu połączenia dwóch blach płaskich. Przetłoczenia są o średnicy 6mm i zostawiają trwałe odkształcenia rzędu grubości łączonych blach. Podstawowym celem badań jest doświadczalne określenie nośności cienkościennych elementów stalowych (słupków) poddawanych podczas eksploatacji siłom ściskającym. Wartości nośności otrzymane podczas badań mają służyć weryfikacji obliczeń statyczno-wytrzymałościowych badanych elementów i poznania mechanizmów zniszczenia tak obciążonych elementów. Laboratoryjne badania wytrzymałościowe przedmiotowych elementów przeprowadzono w Akredytowanym Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Badania zostały wykonane na stanowisku do badań wytrzymałościowych w zakresie do 0,4 MN w skład, którego wchodzi maszyna wytrzymałościowa produkcji firmy VEB Lipsk typu UFP 400 (rys.1), wyposażona w nowoczesne oprzyrządowanie (siłowniki i ekstensometry) firmy Zwick Polska. Klasa dokładności ekstensometrów pomiarowych: 0,5 wg EN-ISO 9513.

Podczas badań przeprowadzono próby wytrzymałościowe na 4 typach słupków rys.1. Z każdego typu przebadano po 5 elementów. Długość elementów wynosiła 430mm. Elementy te zostały wykonane i dostarczone do laboratorium przez Zamawiającego. Materiał z jakich zostały wykonane elementy to stal o granicy plastyczności  $f_y = 355\text{MPa}$  ocynkowana. Do wykonania słupków użyto profili zimnogiętych łączonych ze sobą za pomocą przetłaczania blach na zimno albo za pomocą nitów stalowych (aluminium) średnicy 4,8 mm.

Górny siłownik maszyny był opuszczany aż do przylegania do próbki, a następnie rozpoczynano próbę wytrzymałościową – poddawano próbkę ściskaniu osiowemu z jednoczesną rejestracją i ciągłym zapisem przyrostu siły ściskającej oraz przemieszczeniem siłowników do siebie. Prędkość zbliżania do siebie siłowników maszyny wynosiła 2 mm/min dla elementów typu I i II oraz 4 mm/min dla typów III i IV – rys.1. Podczas badania nie stwierdzono znaczącego wpływu prędkości badania na otrzymane wyniki. Badanie było prowadzone każdorazowo do zniszczenia elementu. Za moment zniszczenia uznawano zerwanie łączników elementowych słupka lub spadek siły ściskającej poniżej 80% siły maksymalnej następujący po fazie plastycznego odkształcania materiału z silnym

and +M remains unchanged.

The resistance of a cross section is determined according to Winter's theory of the effective width of compression walls, due to their slenderness and stress distribution. The critical stage and the post-critical stage are distinguish with the linear and non-linear stress distribution, respectively. This is caused by the local buckling of compression flanges. The way of reducing of the cross section and calculating rules are given, i.a. in [1-6].

## 2. Tests on bracing elements

For the determined static schemes the specific elements of the bearing structure were tested. New elements in the form of compression posts were cold-formed from galvanized steel sheet. Additionally, other type of posts connected with angles by steel rivets or by knockouts were introduced. The knockouts are executed in press by applying an adequate force in order to connect two flat sheets. The knockouts with 6mm diameter leave a permanent deformations of about the thickness of connected steel sheets. The basic purpose of tests is an experimental determination of the resistance of thin-walled steel elements (posts) subjected to compression during operation. The obtained experimentally resistance have to verify the static- strength calculations and to recognize the failure mechanism of tested elements. The strength tests were carried out in the Accredited Laboratory of Building Institute at the Wrocław University of Technology. Tests were executed on a test stand with the range of 0,4MN composed of strength testing machine VEB Lipsk UFP400 (fig.1), equipped with modern instrumentation (actuators and extensometers) from firm Zwick – Poland, with the measurement accuracy class: 0,5 due to EN ISO 9513.

The strength tests were carried out on 4 types of posts (fig.1) containing 5 elements each of a length 430mm. The elements were made and delivered to the laboratory by the Contractor. The samples were made from cold-formed profiles made of galvanized steel with yield strength  $f_y = 355\text{MPa}$  connected by cold knockouts or by steel rivets (aluminum) of 4,8mm.

The samples were subjected to an axial compression and the increment of the axial force and the shortening of the sample were recorded at the same time. The speed of approach of actuators for each other was 2mm/min for samples of types I and II and 4mm/min for types III and IV – fig.1. The significant effect of the speed on the obtained results was not observed. Destructive tests have been continued until the rupture of connectors or the decrease of compressive force below 80% of the maximal force, that follows after the yield deformation of the material with explicit flexural – torsional buckling.

## 3. Tests results

The tests results for the type I and a diagram of the relationships axial load – longitudinal strain (shortening) of the element are listed below. The elements of the type I are constructed from angles LZG 80x80x2 and closing them at the ends sheets with thickness 3mm. The diagrams for the type II shown in fig.1 are related to the tests, in which the aluminum rivets have been used. The same test was repeated with steel rivets because the obtained compression resistances of the elements were not satisfactory.

The static relationship axial load - strain for elements of the type II had a non-linear, elastic-plastic characteristics.

wyboczeniem giętno - skrętnym.

### 3. Wyniki badań

Poniżej przedstawiono wyniki badań elementów typu I wraz wykresem zależności siły ściskającej od odkształcenia wzdłużnego (skręcenia) elementu. Elementy typu I składają się kątowników LZG 80x80x2 z elementami zamykającymi z blachy gr. 3mm. Wykresy dla typu II, pokazane dotyczą wyników badań z zastosowaniem nitów aluminiowych. Badania te powtórzono dla połączenia z nitami stalowymi, gdyż nie otrzymano zadowalających wyników nośności elementu na ściskanie.

Ścieżka równowagi statycznej dla badanych elementów typu II miała charakter nieliniowy sprężysto – plastyczny. Dla tych elementów najsłabszym miejscem jest połączenie pomiędzy ceownikiem a blachą czołową wykonaną w kształcie litery C. Połączenie jest zrealizowane poprzez nity stalowe 2 x 4 o średnicy 4,8mm. Wyraźnie można zauważyć, że dwugięty ceownik C50x60x50 o grubości 2,0 mm ma duże zapasy nośności. Najsłabszym jednak punktem elementów jest połączenie.

Z analizy statycznej – wytrzymałościowej oraz ekonomicznej wynika, że zaproponowane wykonanie przetłoczeń w celu zastąpienia tradycyjnych łączników jest celowe i wpływa na obniżenie kosztów realizacji zadania. Należy jednak pamiętać, że przetłoczenia te należy stosować dla konstrukcji drugorzędnych i nieobciążonych zmęczeniowo.

### 4. Wnioski

Przedstawione wyniki badań różnych rozwiązań elementów usztywniających pokazują pole w jakich możemy szukać jeszcze ekonomiki konstrukcji, nie narażając ją na zbyt małą nośność. Badania pokazują 4 różne elementy o tej samej długości z innymi rozwiązaniami łączenia między sobą. W szczególności warto odnotować tutaj, że blachy przetłoczone pomiędzy sobą pozwalają nie stosować dodatkowego materiału na śruby, nity, tylko wykorzystują materiał rodzimy i prasę. Takie połączenie jest zdecydowanie tańsze od tradycyjnego połączenia. Ponadto, elementy typu III i IV umożliwiają zabezpieczenie punktowe rygla ściennego przed zwichrzeniem, co jest dodatkowym atutem pozwalającym wykorzystać lepiej element usztywniany. Z badań laboratoryjnych zauważono, że element typu III wykonany z kątownika o grubości 2mm a usztywniony kątownikami o grubości 3mm jest lepszym rozwiązaniem niż kątownik o grubości 2,5mm z usztywnieniem o grubości 2,5m. Warto też zauważyć, że nity aluminiowe nie spełniają zadania przy tego rodzaju elementach, a nity stalowe są rozwiązaniem zdecydowanie droższym niż wykorzystywane przetłoczenia.

Nośność przetłoczenia możemy szacować jak nośność rury na ścinanie o średnicy przetłoczenia i grubości ścianki równej grubości cieńszej blachy.

Spośród badanych elementów najwyższą nośność elementu na ściskanie mają elementy typu III. Najniższą wartość mają elementy typu II, w których to zastosowano łączniki na nity stalowe. Dobrym rozwiązaniem technicznym i ekonomicznym jest także model I.

We wszystkich modelach o nośności elementu decydowały połączenia tzn. przetłoczenia lub nity.

Usztywnienia wykonane z kątownika L80x80x2,0(2,5) model III lub IV tj. mocowanego na 2 śruby mogą służyć jako zabezpieczenie płatwi, rygla ściennego przed zwichrzeniem, pod warunkiem przenoszenia dodatkowego obciążenia stabilizacyjnego.

Their weakest place was the channel post to C head plate connection, made by steel rivets 2x4 with diameter 4,8mm. It was clearly observed that double-pressed channel C50x60x50 with thickness 2,0mm had a big resistance reserve. However, the weakest point was the joint.

The static-strength analysis and economic study show, that proposed execution of knockouts replacing the traditional connectors is appropriate and lowers the costs of the task. But, it must be remembered, that the knockouts should be used for secondary structure not fatigue loaded.

### 4. Conclusions

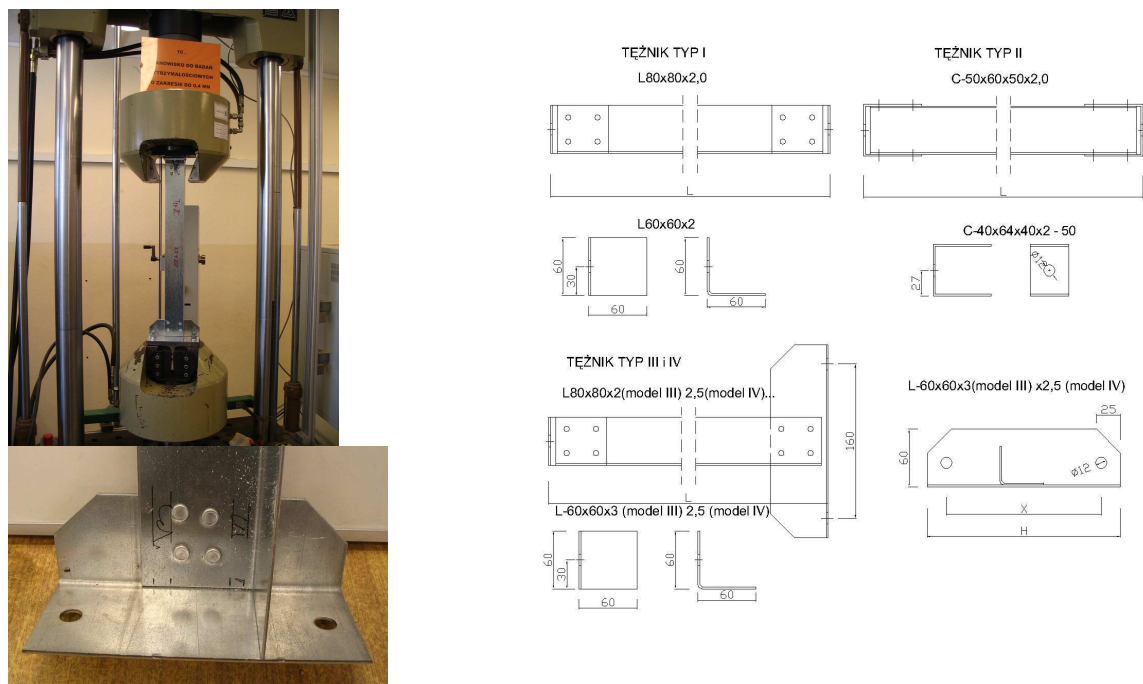
The presented results of different solutions proposed for the bracing elements show the field of economic savings without exposing the structure to too little resistance. The tests present 4 different elements having the same length with other types of interconnections. Particularly, the steel sheets with knockouts constitute a connection without bolts and rivets, using only the basic material and press. Such connection is definitely cheaper from the traditional one. Moreover, the elements of the type III and IV protect discretely the wall girt against lateral buckling, allowing the better utilization of the braced element. From the laboratory test one can observe, that element of type III made from an angle 2mm thick and braced by 3mm thick angles is more beneficial as the solution applying corresponding elements of a thickness of only 2,5mm. It should be also noted, that aluminum rivets can not be applied in this case, and the steel rivets are far more expensive from proposed knockouts.

The knockouts resistance may be estimated as the shear resistance of a pipe with a diameter equal to the knockouts diameter and a thickness equal to the minor thickness of connected steel sheets.

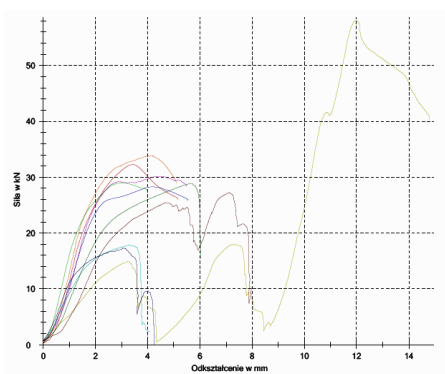
Among tested elements the highest compression resistance have elements of III type, and the lowest of the type II – where steel rivets have been used. A good technique and economic solution is provided also by the type I.

The way of connection, i.e. knockouts or rivets was decisive for the elements resistance.

Bracings made from angle L80x80x2(2,5) – models III and IV, e.g. fixed by 2 bolts may be used as protection for purlins and wall girts against lateral buckling.



Rys. 1. Stanowiska badawcze, widoczne przetłoczenia (typ III) oraz modele elementów badanych.  
 Fig.1. Test device – visible knockouts (type III) and tested model sof elements



Legenda	Oznaczenie próby	Data/Czas	F <sub>max</sub> kN	dL przy F <sub>max</sub> mm
<span style="color:red">■</span>	001 typ I	26-04-2010 11:53:57	32,3	3,4
<span style="color:green">■</span>	002 typ I	26-04-2010 11:59:19	29,0	3,0
<span style="color:blue">■</span>	003 typ I	26-04-2010 12:04:05	28,3	4,2
<span style="color:orange">■</span>	004 typ I	26-04-2010 12:07:59	33,8	4,2
<span style="color:magenta">■</span>	005 typ I	26-04-2010 12:12:35	30,2	4,4
<span style="color:cyan">■</span>	008 typ II	26-04-2010 12:16:54	17,9	3,3
<span style="color:yellow">■</span>	009 typ II	26-04-2010 12:21:11	58,0	12,0
<span style="color:darkred">■</span>	010 typ II	26-04-2010 12:30:28	27,2	7,1
<span style="color:darkgreen">■</span>	011 typ II	26-04-2010 12:35:38	28,9	5,7
<span style="color:darkblue">■</span>	012 typ II	26-04-2010 12:40:48	17,3	3,1

Rys. 2. Wykres zależności siła-odkształcenie wraz z wynikami badań i legendą dla elementów typu I i II (łączniki aluminiowe)  
 Fig.2. Relationship load – strain with listed results and the legend for element of the type I and II (aluminum connectors)

**Literatura • References**

[1] Biegus A., Gierczak J.,(1998), *Research on load-displacement curves for corrugated sheet under bending, shear and compression loads*, Archives of Civil Engineering, XLIV,1.

[2] Davies J.M. (1986), *A general solution for the shear flexibility of profiled sheets*, Thin – Walled Structures No 4.

[3] Eslay I.T., McFarrland D.E. (1969)., *Buckling of light-gauge corrugated metal shear diaphragms*, J. Structural division, 95, No ST7, p.1497-1516, July 1969.

[4] Gierczak J., (1996), *The load-bearing capacity of corrugated sheet under bending and in – plane shearing*, Dissertation, Report of Building Engineering Institute, Technical University of Wrocław, PRE no 15/96.

[5] Gierczak J., (2010), *zaprojektowanie i opracowanie nowych elementów łączących profile zimmogięte produkowane przez firmę Adamietz z konstrukcją główną oraz nowych akcesoriów do usztywnienia rygli ściennych i płatwi dachowych*, Raport serii SPR Nr 8/2010, Politechnika Wroclawska, Wrocław.

[6] Gierczak J., Hotała P., (2010), *Laboratoryjne badania wytrzymałości cienkościennych elementów stalowych*, Raport serii SPR NR 9/2010, Politechnika Wroclawska, Wrocław