

Lesław NIEWIADOMSKI*
Politechnika Śląska

OCENA WPŁYWU IMPERFEKCJI ŚCISKANYCH PASÓW DŹWIGARÓW KRATOWYCH NA SIŁY WEWNĘTRZNE W STALOWYCH ELEMENTACH KONSTRUKCJI DACHU

Streszczenie. W referacie przedstawiono mechanizm powstawania sił bocznego oddziaływania ściskanych pasów wiązarów. Siły te są wynikiem działania obciążenia pionowego na przestrzenną konstrukcję dachową z wiązarami o pasach wstępnie poziomo wygiętych lub załamanych. Stwierdzono, że brak jest podstaw do stosowania wygięcia zastępczego, obejmującego wpływ wszystkich imperfekcji. Głównym czynnikiem wpływającym na wartości oddziaływań bocznych jest wygięcie początkowe ściskanego pasa wiązara, a wpływ pozostałych imperfekcji może być na ogół pominięty w obliczeniach poprzecznych tężników połączeniowych.

AN ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE IMPERFECTION OF COMPRESSED TRUSS CHORDS ON THE INTERNAL FORCES IN THE STRUCTURE OF A ROOF

Summary. The paper deals with the mechanism of the formation of lateral forces in compressed truss chords. These forces result from the vertical load acting on the spatial structure of a roof with trusses having initial bow imperfection. It has been found that there are no reasons for the application of a equivalent initial bow imperfection counteracting the effect of all the imperfections. The main factor affecting the values of lateral influences is the initial bow imperfection of the compressed truss chords, whereas the influence of the remaining imperfections may be generally neglected in calculations of the bracing system.

1. Wstęp

W obowiązujących normach projektowania [1], [2] wpływ sił bocznego oddziaływania ściskanych pasów wiązarów dachowych potraktowany jest jako zagadnienie płaskie, występujące w płaszczyźnie połączenia dachu. Podejście takie umożliwia określenie wpływu tych

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starossolski.

sił jedynie na wartości sił w płatwiach wewnętrznych, tzn. z pominięciem płatwi skrajnych, oraz w poprzecznych tężnikach połączeniowych.

W rzeczywistości siły oddziaływania bocznego są wynikiem działania obciążenia pionowego na przestrzenną konstrukcję dachową z wiązarami o pasach wstępnie poziomo wygiętych lub załamanych. Powoduje to powstanie dodatkowych sił wewnętrznych również w prętach wiązarów i pionowych tężnikach dachowych.

Przyjęte w przepisach normowych zasady obliczeniowe wykorzystują płaski model pasa ściskanego, wstępnie wygiętego. Wstępne wygięcia traktowane są jako wygięcia zastępcze, ujmujące wpływ wszystkich imperfekcji ściskanego pasa wiązara. Decydującą rolę wg komentarza do PN [3] odgrywają rzeczywiste początkowe wygięcia pasa, brak jest jednak informacji, jaki jest udział ilościowy pozostałych imperfekcji.

W referacie podjęto próbę przedstawienia mechanizmu powstawania sił bocznego oddziaływania ściskanych pasów wiązarów, co wymaga m. in. wyróżnienia rzeczywistej części wygięcia zastępczego i oceny wpływu pozostałych imperfekcji.

2. Imperfekcje

Całe nośne ustroje budowlane, podzespoły montażowe oraz części składowe elementów obciążone są niedoskonałościami i wadami początkowymi nazywanymi imperfekcjami. Powstają one w procesie wytwarzania i zespawania wyrobów hutniczych oraz podczas transportu, scalania i montażu elementów na placu budowy.

Imperfekcje można podzielić na strukturalne, technologiczne i geometryczne. Bierze się je pod uwagę przy określaniu zastępczego początkowego wygięcia słupów osiowo ściskanych (bez podparć bocznych), co przedstawiono na rys. 1.

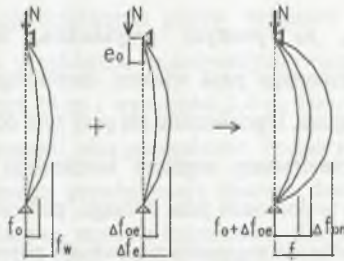
Poszczególne oznaczenia na rys. 1. przedstawiają:

f_0 – rzeczywiste wygięcie wstępne, które ulega zwiększeniu do f_w pod wpływem obciążenia elementu siłą N ,

Δf_e – wygięcie spowodowane rzeczywistym mimośrodem przyłożenia siły e_0 , które można uzyskać też za pomocą wstępnego dodatkowego wygięcia Δf_{0e} .

Δf_n – przyrost wygięcia spowodowany naprężeniami wstępnymi, który można uzyskać za pomocą wstępnego dodatkowego wygięcia Δf_{0n} .

Wpływ niejednorodności materiału i niedoskonałości wymiarów przekroju poprzecznego słupa uwzględnia się we wstępnym mimośrodku obciążenia.

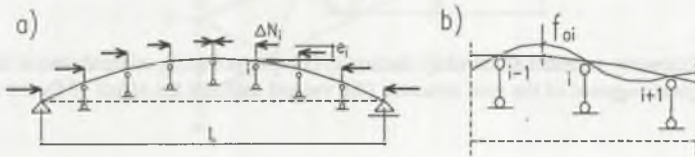


Rys. 1. Składowe zastępczego początkowego wygięcia słupów osiowo ściskanych
Fig. 1. Components of the equivalent initial bow imperfection of axially compressed posts

Całkowite wygięcie f , pod działaniem siły N , można więc określić przez wprowadzenie wstępnego wygięcia zastępczego f_{0z} .

$$f_{0z} = f_0 + \Delta f_{0e} + \Delta f_{0n} \quad (1)$$

W przypadku wstępnie wygiętego pręta ściskanego z podparciami bocznymi nie można już uwzględnić wpływu wstępnego mimośrodu przez zwiększenie strzałki wstępnego wygięcia całego elementu (rys.2.).



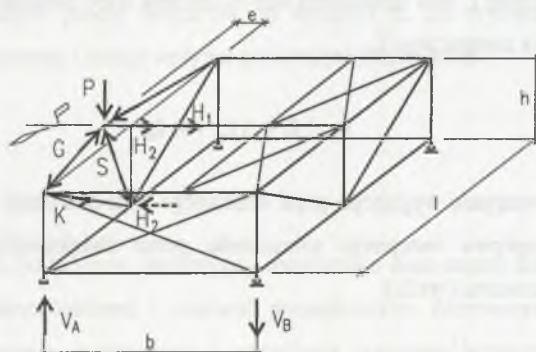
Rys. 2. Wstępnie wygięty pręt ściskany z podparciami bocznymi
Fig. 2. Initially bent compression member with lateral supports

W przypadku pasa górnego wiązara wzięto pod uwagę mimośrody e_i siły rozwarstwiającej, będące wynikiem zróżnicowania odchyłek wymiarowych przekrojów gałęzi prętów skratowania. Pominięto przy tym wpływ niejednorodności materiału, który, jak wynika ze wstępnych ocen, jest znacznie mniejszy. Osobnej oceny natomiast wymaga wpływ międzywęzłowych poziomych wygięć f_{oi} pasa górnego.

3. Mechanizm powstawania sił bocznego oddziaływania ściskanych pasów wiązarów

Poniżej przedstawiono, na prostym przykładzie, mechanizm powstawania sił oddziaływania bocznego ściskanego pasa wiązara dachowego i ich wpływ na wartość sił wewnętrznych w prętach wiązara. Ograniczono się przy tym do wygięcia pasa ściskanego.

Do analizy przyjęto przestrzenny segment konstrukcji dachowej złożony z dwóch wiązarów wolno podpartych w poziomie pasa dolnego, połączonych płatwią kalenicową oraz płatwiami okapowymi. Stateczność segmentu zapewniają poprzeczne stężenie połącziowe oraz pionowe stężenia okapowe. Założono załamanie pasa górnego jednego z wiązarów w węźle środkowym, zakładając jego poziome przemieszczenie o wartości e . W miejscu załamania wiązara obciążono pionową siłą węzłową P (rys.3).



Rys. 3. Analizowany segment konstrukcji dachowej (zwroty pokazują oddziaływanie sił na węzły)
Fig. 3. Analysed segment of the roof structure (the vectors indicate the effect of forces on the joints)

gdzie: V_A, V_B – reakcje podporowe,

G, K, S – siły osiowe w pasie górnym, krzyżulcach i słupku środkowym wiązara,

H_1 – pozioma siła od załamania pasa górnego wiązara,

H_2 – pozioma siła od pochylenia słupka środkowego wiązara.

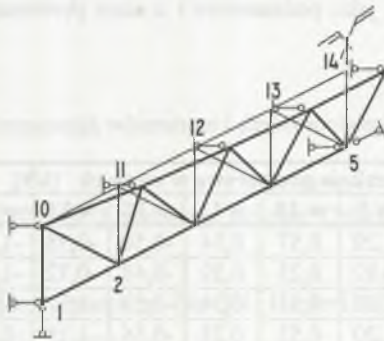
Siła H_1 , będąca wynikiem załamania pasa górnego wiązara, równoważy się w płaszczyźnie poziomej dachu. Tylko tę siłę uwzględniają przepisy normowe.

Siła H_2 , wynikająca z wychylenia słupka wiązara z jego płaszczyzny, powoduje zginanie pasa dolnego wiązara w płaszczyźnie do niego prostopadłej, oraz powstanie dodatkowych sił w pionowych stężeniach okapowych.

4. Schematy obliczeniowe

Analizę wpływu imperfekcji ściskanych pasów wiązarów na wartości sił w prętach wiązarów przeprowadzono na przykładzie pojedynczych wiązarów kratowych typu N o pasach równoległych, rozpiętości 24 m i wysokości 2,4 m. Pasy górny i dolny przyjęto jako ciągłe, a połączenia prętów z pasami jako przegubowe. Podpory prostopadłe do płaszczyzny wiązara w węzłach pasa górnego przedstawiają płatwie dachowe, a podpora w węzle środkowym pasa dolnego – pionowe stężenie kalenicowe. Przyjęto dwa rodzaje wiązarów – wiązary dwusienne z pasem górnym z 2L100x100x10 i dolnym z 2L80x80x8 w rozstawie 200 mm (typ a) oraz jednościenne z pasem górnym z ½IPE300 i dolnym z ½I180 (typ b). Obciążenia przyjęto jak dla połaci dachowej z lekkim pokryciem z płyt warstwowych, obciążonej śniegiem wg strefy I, przy rozstawie wiązarów 6 m. Obciążenie pionowe węzłów pośrednich pasa górnego wynosiło 21,7 kN, a skrajnych 10,9 kN.

Wartość wygięcia początkowego pasa przyjęto zgodnie z Eurokodem [2] ($e_o=1/500 \cdot L$), zakładając jego kształt wg sinusoidy i traktując je jako rzeczywiste wygięcie pasa (rys. 4).



Rys. 4. Pierwszy schemat obliczeniowy wiązara
Fig. 4. First model of calculations of the truss

W drugim schemacie wpływ mimośrodków siły rozwarstwiającej zamodelowano przez wprowadzenie dodatkowych poziomych wsporników obciążonych na końcach siłami pionowymi. Wartości wstępnego wygięcia przyjęto $e_o=1/500 \cdot L$, a wysięg wsporników wynikający z odchyłek wymiarowych przekrojów poprzecznych gałęzi prętów skratowania oceniono na 0,6 cm. Natomiast wpływ odchyłek wymiarowych kątowników pasa powoduje przesunięcie środka ciężkości przekroju poprzecznego pasa ok. 0,4 cm, co jest równoważne zwiększeniu początkowego wygięcia pasa ok. 12%.

W trzecim schemacie uwzględniono poziome międzywęzłowe początkowe wygięcia pasa górnego wiązara. Przyjęto je zgodnie z zaleceniem PN [1] (zał.1 punkt 1a) o przebiegu odpowiadającym rys.2b, symetrycznym względem środka wiązara, co częściowo znajduje swoje potwierdzenie w literaturze [5]. Obliczeniowe wartości początkowego wygięcia wyznaczono jak w prętach ściskanych zgodnie z Eurokodem [2] – rys. 5.5.1, otrzymując w przypadku kratownicy jednościennej $f_{oi} = e_{od} = 0,4$ cm, a dla dwuściennej 0,6 cm.

W przyjętych schematach nie uwzględniono wpływu naprężeń wstępnych, które, jak wynika z szacunkowych obliczeń, są pomijalnie małe.

5. Wyniki i analiza obliczeń

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń dotyczące trzech opisanych w punkcie 4 schematów konstrukcyjnych wiązarów, wykonane wg teorii liniowej. Wyniki obejmują reakcje podporowe (reprezentujące siły w płatwiach) oraz momenty zginające w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wiązarów w wybranych węzłach konstrukcji. Wyniki dotyczące schematu 1 potraktowano jako podstawowe i z nimi porównano wyniki dla pozostałych schematów.

Tabela 1
Wartości reakcji podporowych i momentów zginających w pasie dolnym

Schemat Nr	Reakcje podporowe w węzłach [kN]							Mom. [kNm]	
	w 1	w 5	w 10	w 11	w 12	w 13	w 14	w 2	w 5
1a	0,49	1,20	0,57	0,14	-0,50	-0,78	-1,02	-1,45	1,88
2a	0,62	0,92	0,23	0,39	-0,48	-0,72	-1,00	-1,87	1,65
3a	0,49	1,20	0,51	0,34	-0,59	-1,37	0,05	-1,45	1,88
3b	0,49	1,20	0,52	0,28	-0,56	-1,18	-0,30	-1,44	1,86

Wartości sił ściskających w pasie górnym wiązarów praktycznie nie zależą od schematu konstrukcyjnego i wynoszą od ok. 95 kN do ok. 217 kN w poszczególnych odcinkach pasa.

Wygięcia międzywęzłowe pasa górnego (schemat 3) wpływają jedynie na redystrybucję sił osiowych w płatwiach bez zmiany wartości wypadkowej oddziaływań wszystkich płatwi. Zmianie nie ulegają również wartości momentów zginających w pasie dolnym.

Uwzględnienie mimośrodków sił rozwarstwiających (schemat 2) również wpływa jedynie na redystrybucję sił osiowych w płatwiach, nie wpływając na zmianę wartości ich wypadkowej. Zbliżone są również wartości maksymalnych momentów zginających w pasie dolnym, zmianie uległ jedynie przekrój, w którym występuje moment największy.

6. Wnioski

Stwierdzono, że w przypadku prętów osiowo ściskanych z podparciem bocznym – a w szczególności ściskanych pasów wiązarów dachowych – siły bocznego oddziaływania zależą głównie od wartości poziomych wygięć początkowych tych elementów. Wpływu pozostałych imperfekcji – w odróżnieniu od osiowo ściskanych słupów – nie można uwzględnić, zwiększając wartość wygięcia początkowego (tzn. stosując tzw. zastępczą strzałkę ugięcia) i wymagają one bezpośredniego uwzględnienia w modelu obliczeniowym. Z uwagi jednak na bardzo małe prawdopodobieństwo systematycznego występowania tych pozostałych imperfekcji, które były przedmiotem analizy, oraz fakt, że nie wpływają one w zasadzie na wartości obciążenia poprzecznych tężników połączeniowych, wydaje się, że imperfekcje te mogą być pominięte, przynajmniej przy wyznaczaniu sił w tych tężnikach.

Ostateczne wnioski z tego zakresu będą mogły być sformułowane dopiero po szerszej analizie, obejmującej wiele konstrukcji dachowych różniących się typem wiązara, wymiarami i obciążeniem.

LITERATURA

1. Polska Norma PN-90/B-03200, Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
2. Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings. ENV 1993-1-1., CEN, Brussels 1992.
3. Komentarz do PN-90/B-03200, COBPKM „Mostostal” SA., Warszawa 1992.
4. Biegus A.: Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych. PWN, Warszawa – Wrocław 1999.
5. Ballio G., Mazzolani F.M.: Theory and Design of Steel Structures. Chapman and Hall, London – New York 1983.

Recenzent: Prof. dr inż. Wojciech Włodarczyk

Abstract

In standards of designing [1], [2] the influence of lateral forces of compressed truss chords is treated as a flat problem. Actually, however, these forces result from the vertical load exerted on the spatial structure of the roof with trusses having initial bow imperfection. The paper presents the mechanism of the formation of lateral forces of compressed truss chords. The main factor affecting the values of lateral influences is the initial bow imperfection of the compressed truss chords, whereas the influence of the remaining imperfections may be generally neglected in calculations of the bracing system.