

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 245693 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441079**

(22) Data zgłoszenia: **2022.05.02**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.11.06 BUP 45/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.09.23 WUP 39/2024**

(51) MKP:

E04C 3/08 (2006.01)

E04B 5/10 (2006.01)

B21D 47/01 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
PAWEŁ PIECZKA, Lębork, PL

(74) Pełnomocnik:
**rzecz. pat. Justyna Pawłowska-Bajerska,
Gdańsk, PL**

(54) Tytuł:

Belka ażurowa

PL 245693 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest belka ażurowa, która ze względu na sposób wykonania pozwala na lepsze wykorzystanie własności geometrycznych przekroju i fizycznych materiału. Wynalazek ma zastosowanie jako belka stropowa używana do podparcia stropów, a w szczególności do konstrukcji, w których belki stropowe o schemacie statycznym belki swobodnie podparte są niezabezpieczone przed zwichrzeniem.

Belki ażurowe stanowią alternatywę dla kratownic i legarów. Belki ażurowe są smukłymi i lekkimi elementami konstrukcyjnymi, które pozwalają na osiągnięcie dużych rozpiętości, a co za tym idzie projektowanie ogromnych wolnych przestrzeni. Otwory wykonane w środku, o różnym kształcie wyznaczonym przez krzywą cięcia kształtownika tworzącej dwie części belki, umożliwiają instalowanie rur i przewodów mechanicznych, elektrycznych i hydraulicznych w środku belki, co pozwala stosować kompaktowe systemy sufitowe i zmaksymalizować wysokość od podłogi do sufitu.

Na fig. 1–6 pokazano belki znane ze stanu techniki. Znane belki ażurowe wytwarzane są przez przecięcie całego dwuteownika gorącowalcowanego dowolnego typu – kształtownika na dwa elementy wzdłuż krzywej cięcia na środku, w taki sposób, aby możliwe było ponowne połączenie części powstałych w wyniku przecięcia – te części podzielone przez krzywą cięcia kształtownika – to części przeciętego kształtownika na dwie równe części – górną i dolną. Belka powstała zatem z kształtownika – tutaj o typie dwuteownika gorącowalcowanego, po jego przecięciu linią – krzywą cięcia pionowo i ponownym pospawaniu części. Obie części kształtownika – górną i dolną powstają z przeciętego kształtownika i składają się z pasa dwuteownika oraz wycinka środka dwuteownika o zmiennej wysokości. Części te ustawia się na sobie i łączy za pomocą spoiny czołowej w miejscach styku. W zależności od zastosowanej krzywej cięcia pomiędzy częściami możliwe jest uzyskanie otworów widocznych w widoku bocznym belki ażurowej: okrągłych, sinusoidalnych lub sześciokątnych co pokazano na fig. 3 lub ośmiokątnych – takie są znane w stanie techniki. Po połączeniu belka ma zwiększoną wysokość względem wysokości użytego kształtownika. Zwiększenie wysokości przekroju w wyniku przecięcia kształtownika uzyskując belkę składającą się z dwóch części pozwala otrzymać belkę o większym momencie bezwładności i nośności, bez wzrostu zużycia stali, w stosunku do kształtownika, z którego została wykonana. Wciąż jednakże poszukuje się możliwości zwiększenia efektów belek stropowych ażurowych.

Ponadto ze zgłoszenia CN202658798U znana jest belka ażurowa typu H, która zawiera górną półkę, dolną półkę, górną część środka i dolną część środka, przy czym górna półka jest połączona z górnym środkiem, dolna półka jest połączona z dolnym środkiem. Górny środek i dolny środek są wyposażone w odcinek linii prostej, odcinek ukośny i łuk kołowy. Odcinek linii prostej jest równoległy do osi belki, odcinek ukośny tworzy kąt ostry z osią belki, a łuki kołowe łączą odcinki proste z ukośnymi. W zgłoszeniu zaprezentowano przykład, w którym dolna część belki ażurowej jest wykonana z szerszego kształtownika od tego, z którego została wykonana część górna belki ażurowej zastosowano zatem kształtowniki o różnych wymiarach przekroju poprzecznego. Zgłoszenie jednak nie opisuje możliwości zastosowania różnych materiałów oraz jaki wpływ ma to na nośność belki ażurowej. Ponadto kształtownik o większym momencie bezwładności względem osi pionowej umieszczony jest w dolnej części belki, co w przypadku belki swobodnie podartej prowadzi do zwiększenia wysokości strefy ścisanej, a więc obniżenia nośności na zginanie ze zwichrzeniem, co jest niepożądane.

Ze zgłoszenia KR100963020B1 również znane jest rozwiązanie wykorzystujące kształtowanie belki ażurowej z dwóch różnych kształtowników. Zgłoszenie dotyczy belki ażurowej o różnych szerokościach otworów w środku, możliwości kontrolowania szerokości otworu w procesie wytwarzania belki oraz poprawy wytrzymałości na wyboczenie lokalne słupka środka – część środka między otworami. Zgłoszenie jednak nie opisuje możliwości wyjaśnienia korzyści z zastosowania różnych kształtowników, w szczególności tego z jakich są materiałów oraz jaki wpływ ma to na nośność belki ażurowej. Ponadto kształtownik o większym momencie bezwładności względem osi pionowej umieszczony jest w dolnej części belki, co w przypadku belki swobodnie podartej prowadzi do zwiększenia wysokości strefy ścisanej, a więc obniżenia nośności na zginanie ze zwichrzeniem.

Korzyścią stosowania belki ażurowej jest możliwość prowadzenia ciągów instalacyjnych przez otwory. W przypadku belki ażurowej z szerokimi otworami zwiększa się powierzchnia dostępna do prowadzenia ciągów instalacyjnych, jednak ma to niekorzystny wpływ na nośność oraz prowadzi do zwiększenia odpadów powstałych w procesie cięcia kształtownika używanego do wytworzenia belki ażurowej.

Niedogodnością znanych rozwiązań jest zatem niedostateczne wykorzystanie własności geometrycznych i materiałowych, a więc gorszy stosunek nośności do ceny względem belki wykonanej zgodnie

z proponowanym wynalazkiem. Celem wynalazku była zatem poprawa stosunku nośności do ceny. Znane belki ażurowe nie uwzględniają możliwości wytworzenia belki z dwóch różnych kształtowników wykonanych z różnych stali.

Celem wynalazku było zatem opracowanie takiej konstrukcji belki ażurowej aby możliwe było lepsze niż w przypadku obecnie stosowanych belek wykorzystanie własności geometrycznych przekroju i fizycznych materiału celem uznania efektu jakim jest lepszy stosunek nośności belki. Według wynalazku okazało się bowiem, że możliwe jest wykonanie belki ażurowej, w której części górna i dolna belki ażurowej wykonane są z kształtowników o różnej geometrii przekroju poprzecznego oraz gatunku stali, z której zostały wykonane.

Okazało się, że belka wykonana zgodnie ze zgłoszeniem CN202658798U uzyskuje gorszy stosunek nośności do ceny, względem belki wykonanej zgodnie z proponowanym wynalazkiem. Belka wykonana zgodnie ze zgłoszeniem KR100963020B1 uzyskuje również gorszy stosunek nośności do ceny, względem belki wykonanej zgodnie z proponowanym wynalazkiem.

Według wynalazku belka ażurowa wykonana na bazie dwuteownika gorącowalcowanego, charakteryzuje się tym, że budowana jest w zasadniczej z górnej części i dolnej części, zaś każda z części budowana jest z połowy przeciętego przez środek dwuteownika gorącowalcowanego innego typu wzdłuż krzywej cięcia. Górna część jest wykonana z dwuteownika gorącowalcowanego szerokostopowego o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju, a dolna część wykonana jest z dwuteownika gorącowalcowanego o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju, a ponadto krzywa cięcia jest tak wyznaczona aby po złączeniu dwóch części belki pomiędzy częściami uzyskać otwory w środku przebiegające wzdłuż belki. Jako środek rozumie się środkową część dwuteownika gorącowalcowanego lub gotowej belki. Środek łączy ze sobą oba pasy (górny i dolny).

Według wynalazku opracowano belkę ażurową uzyskiwaną z wybranych dwuteowników gorącowalcowanych, przy czym a co jest istotne wykorzystuje się dwa różne rodzaje kształtowników – tutaj wybranych typów dwuteowników – aby uzyskać jedną belkę, wykonano belkę ażurową, w której górna część jest wykonana z dwuteownika gorącowalcowanego szerokostopowego o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju. Dolna część belki ażurowej wykonana jest z dwuteownika gorącowalcowanego o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju. Dwuteownik, z którego wykonana jest górna część belki ażurowej, wykonany jest ze stali o niższej granicy plastyczności względem dwuteownika, z którego wykonana jest dolna część belki ażurowej. Belka wynalazku zawiera zatem dwie części – część górna belki ażurowej i część dolna belki ażurowej. Każda zaś część uzyskiwana jest zatem z innego rodzaju dwuteownika – górna część wykonana jest z części uzyskanej z przeciętego dwuteownika innego typu niż dolna część – wykonana z części przeciętego dwuteownika innego typu.

Oba różne dwuteowniki – nazywane inaczej dalej i zamiennie kształtowniki – przecinane są zgodnie z tym samym kształtem wycięcia – krzywą wycięcia. W zależności od zastosowanego kształtu wycięcia możliwe jest uzyskanie otworów widocznych w widoku bocznym belki ażurowej: okrągłych, sinusoidalnych lub sześciokątnych.

Istotne jest zatem, że jako część górną belki ażurowej wykorzystano uzyskaną po przecięciu część dwuteownika szerokostopowego, a na dolną część belki ażurowej taki który, nie ma szerokich półek – to wpływa na moment bezwładności – to dotyczy tych kształtów – z kształtu – kształt wykorzystanego dwuteownika determinuje stosunek momentów bezwładności, jak wskazano powyżej.

Korzyści wynalazku są następujące: wykonywanie belek ażurowych zgodnie z wynalazkiem prowadzi do otrzymania belki, której oś bezwładności przekroju znajduje się bliżej półki górnej. Użycie kształtownika o wyższym momencie bezwładności względem pionowej osi w górnej części belki zwiększa nośność belki ze względu na zwiczerzenie (wykorzystanie własności geometrycznych przekroju). Przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego naprężenia ściskające σ_c w górnej części przekroju osiągają mniejsze wartości od naprężeń rozciągających σ_t w dole części przekroju. Pozwala to na wykorzystanie większej wytrzymałości stali na rozciąganie w części dolnej (wykorzystanie własności fizycznych materiału). Zastosowanie stali o wyższej wytrzymałości tylko tam, gdzie jest to konieczne, czyli w dolnej części belki ażurowej i stali o niskiej wytrzymałości w pozostałych miejscach, czyli górnej

części belki ażurowej pozwala na redukcję kosztów produkcji. Ponadto możliwość wykorzystania różnych kształtowników do wykonania danej belki ażurowej znacznie zwiększa liczbę możliwych wariantów co pozwala na lepsze dopasowanie do wymogów projektowych.

Wynalazek pokazano bliżej w przykładach wykonania i na rysunkach.

Na fig. 1–6 pokazano znane belki ażurowe w stanie techniki. Na fig. 1 pokazano widok kształtownika przed przecięciem w widoku bocznym na kształtownik – jednakże z oznaczoną krzywą cięcia kształtownika na części belki. Na fig. 2 pokazano przekrój poprzeczny A-A przez kształtownik pokazany na fig. 1 przed przecięciem kształtownika. Na fig. 3 przedstawiono w widoku bocznym belkę ażurową po przecięciu kształtownika uzyskaną z połączenia górnej części belki ażurowej powstałej po przecięciu kształtownika z dolną częścią belki ażurowej powstałą po przecięciu kształtownika – obie części są widoczne w widoku z boku na belkę i powstają z przeciętego kształtownika – (części te ustawia się na sobie i łączy za pomocą spoiny czołowej w miejscach styku. Na fig. 4 pokazano przekrój poprzeczny B-B przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór w środniku ma największą wysokość – w przekroju tym oznaczono elementy belki ażurowej jak półka górna, półka dolna, górna część środnika, dolna część środnika. Na fig. 5 pokazano przekrój poprzeczny C-C przez belkę ażurową w miejscu styku części górnej i dolnej belki ażurowej, pokazano też słupek środnika – miejsce, w którym środnik nie posiada otworu. Na fig. 6 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki o schemacie belki swobodnie podpartej, ze względu na symetrię: naprężenia ściskające s_c w górnej części przekroju oraz naprężenia rozciągające s_t w dolnej części przekroju są sobie równe co do wartości. Przekroje B-B oraz C-C są widoczne na figurze pokazującej belkę w widoku z boku.

Na fig. 7–14 pokazano belkę ażurową o otworach sześciokątnych według wynalazku. Na fig. 7 pokazano kształtownik – dwuteownik szerokostopowy w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć górną część belki ażurowej. Na fig. 8 pokazano przekrój poprzeczny D-D przez kształtownik pokazany na fig. 7 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 7. Na fig. 9 pokazano kształtownik – dwuteownik o wąskich półkach w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć dolną część belki ażurowej. Na fig. 10 pokazano przekrój poprzeczny E-E przez kształtownik pokazany na fig. 9 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 9. Na fig. 11 pokazano belkę ażurową o otworach sześciokątnych widocznych w widoku z boku na belkę. Na fig. 12 pokazano przekrój poprzeczny F-F przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. Na fig. 13 pokazano przekrój poprzeczny G-G przez belkę ażurową w miejscu styku części górnej i dolnej belki ażurowej. Na fig. 14 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki pokazanej na fig. 11 o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego.

Na fig. 15–22 pokazano belkę ażurową o otworach okrągłych według wynalazku. Na fig. 15 pokazano kształtownik – dwuteownik szerokostopowy w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć górną część belki ażurowej. Na fig. 16 pokazano przekrój poprzeczny H-H przez kształtownik pokazany na fig. 15 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 15. Na fig. 17 pokazano kształtownik – dwuteownik o wąskich półkach w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć dolną część belki ażurowej. Na fig. 18 pokazano przekrój poprzeczny I-I przez kształtownik pokazany na fig. 17 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 17. Na fig. 19 pokazano belkę ażurową o otworach okrągłych widocznych w widoku z boku na belkę. Na fig. 20 pokazano przekrój poprzeczny J-J przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. Na fig. 21 pokazano przekrój poprzeczny K-K przez belkę ażurową w miejscu styku części górnej i dolnej belki ażurowej. Na fig. 22 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki pokazanej na fig. 19 o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego.

Na fig. 23–30 pokazano belkę ażurową o otworach sinusoidalnych według wynalazku. Na fig. 23 pokazano kształtownik – dwuteownik szerokostopowy w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć górną część belki ażurowej. Na fig. 24 pokazano przekrój poprzeczny L-L przez kształtownik pokazany na fig. 23 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 23. Na fig. 25 pokazano kształtownik – dwuteownik o wąskich półkach w widoku z boku, który po przecięciu będzie tworzyć dolną część belki ażurowej. Na fig. 26 pokazano przekrój poprzeczny M-M przez kształtownik pokazany na fig. 25 przed przecięciem, przekrój ten został też oznaczony na fig. 25. Na fig. 27 pokazano belkę ażurową o otworach sinusoidalnych widocznych w widoku z boku na belkę. Na fig. 28 pokazano przekrój poprzeczny N-N przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. Na fig. 29 pokazano przekrój poprzeczny O-O przez belkę ażurową w miejscu styku części górnej i dolnej belki ażurowej. Na fig. 30 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki pokazanej na fig. 27 o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego.

Na fig. 31 przedstawiono w widoku izometrycznym model numeryczny belki ażurowej wykonany w programie Abaqus. Na fig. 32 przedstawiono postać wybożenia belki ażurowej odpowiadającą zwichrzeniu belki swobodnie podpartej, postać została obliczona w programie Abaqus. Na fig. 33 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych w programie Abaqus dla belek ażurowych wykonanych zgodnie ze stanem techniki oraz zgodnie z wynalazkiem – zależność.

Na rysunku stanu techniki i wynalazku zastosowano następujące oznaczenia:

- 1 – kształtownik w rozumieniu dowolny znany ze stanu techniki np. dany jeden typ dwuteownika jaki buduje jedną belkę ażurową ze stanu techniki, stosowany do wykonania belki ażurowej zgodnej z stanem techniki;
- 2 – przecięcie – krzywa cięcia zgodnie z którą przecinany jest kształtownik na dwie części tworzące belkę;
- 3 – górna część belki ażurowej powyżej krzywej cięcia – części belki są widoczne w widoku z boku na belkę;
- 4 – dolna część belki ażurowej poniżej krzywej cięcia – części belki są widoczne w widoku z boku na belkę;
- 5 – spoina czołowa łącząca obie części belki ażurowej widoczna w widoku z boku na belkę;
- 6 – półka górna belki ażurowej;
- 7 – półka dolna belki ażurowej;
- 8 – górna część środnika belki ażurowej;
- 9 – dolna część środnika belki ażurowej;
- 10 – słupek środnika – miejsce, w którym środnik nie posiada otworu;
- 11 – wybrany rodzaj dwuteownika znanego ze stanu techniki jaki tworzy część belki ażurowej – dokładnie górna część belki ażurowej jest wykonana z przeciętego dwuteownika 11, według wynalazku czyli kształtownik – dwuteownik szerokostopowy, a więc taki dla którego momenty bezwładności względem obu osi głównych są do siebie zbliżone, wykonany ze stali o granicy plastyczności niższej niż stali, z której wykonano dwuteownik 12;
- 12 – inny wybrany rodzaj dwuteownika znanego ze stanu techniki jaki tworzy część belki ażurowej według wynalazku – tutaj dolna część – kształtownik – dwuteownik o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju, wykonany ze stali o granicy plastyczności wyższej niż stali, z której wykonano dwuteownik 11;
- 13 – żebro podporowe;
- 14 – powierzchnia przyłożenia obciążenia równomiernego w modelu numerycznym.

Czyli w przykładach 1, 11 i 12 to kształtownik, ale 1 dotyczy dowolnego kształtownika np. dwuteownika znanego, 11 to konkretnie dwuteownik szerokostopowy wykonany ze stali o niskiej granicy plastyczności, a 12 to dwuteownik o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju.

Co istotne według wynalazku górna część belki ażurowej jest wykonana z przeciętego dwuteownika oznaczonego jako 11, a dolna część belki ażurowej z przeciętego dwuteownika oznaczonego jako 12. Po przecięciu np. kształtownika 11 i wykorzystaniu do wytworzenia wynalazku – jednej połówki, druga może być wykorzystana do wykonania kolejnej belki ażurowej. 6 – półka górna belki ażurowej, 7 – półka dolna belki ażurowej, 8 – górna część środnika belki ażurowej, 9 – dolna część środnika belki ażurowej widoczne są w przekroju poprzecznym przez belkę ażurową na fig. 4, 12, 20, 28.

W skład dolnej części i górnej części belki wchodzi: część środnika i półka – odpowiednio dolne/górne. Półka to płaska pozioma część w dwuteowniku, jest jedna półka na górze i jedna na dole kształtownika – danego dwuteownika tworzącego po przecięciu belkę. W miejscach gdzie opisuje się łączenie belki ażurowej używa się określenia „części”.

W opisie wynalazku stosuje się następujące terminy z wyjaśnieniem: jako kształtownik ma się na myśli element stalowy gorąco walcowany o przekroju dwuteowym – dany rodzaj dwuteownika wybrany według wynalazku jak podano wyżej. Kształtownik przed przecięciem składa się z dwóch półek oraz środnika w widoku w przekroju. Półka jest poziomą częścią kształtownika, a środnik jest pionową czę-

ścią kształtownika. Belka ażurowa spawana jest z dwóch elementów uzyskiwanych z różnych kształtowników: tworząc górną część belki ażurowej i dolną część belki ażurowej. Określenie góra i dół odnosi się do położenia w przypadku użycia belki w schemacie statycznym belki swobodnie podpartej.

Przykład 1

Belka ażurowa o otworach sześciokątnych i kształcie krzywej wycięcia składającej się z odcinków równoległych do osi belki, odcinków ukośnych względem osi belki oraz odcinków zaokrąglonych w miejscu łączenia odcinków równoległych z ukośnymi.

Jak pokazano na fig. 11–13, według wynalazku belkę ażurową budują w zasadniczej konstrukcji dwa różne kształtowniki pod względem geometrii przekroju poprzecznego oraz klasy stali użytej przy produkcji kształtowników.

Na fig. 7 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowalcowany 11, który po przecięciu zgodnie z krzywą wycięcia 2 tworzyć będzie górną część belki ażurowej 3 widoczną na fig. 11. Kształtownik 11 jest dwuteownikiem szerokostopowym o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju – w tym przykładzie jest to HEB 300. Na fig. 8 pokazano przekrój poprzeczny D-D przez kształtownik 11 przed przecięciem.

Na fig. 9 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowalcowany 12, który po przecięciu zgodnie z krzywą wycięcia 2 tworzyć będzie dolną część belki ażurowej 4 widoczną na fig. 11. Kształtownik 12 jest dwuteownikiem o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju – w tym przykładzie jest to IPE 300. Na fig. 10 pokazano przekrój poprzeczny E-E przez kształtownik 12 przed przecięciem.

Na fig. 11 przedstawiona w widoku bocznym jest belka ażurowa. Części 3 i 4 ustawia się na sobie i łączy za pomocą spoiny czołowej 5 w miejscach styku. Na fig. 12 pokazano przekrój poprzeczny F-F przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. W przekroju tym oznaczono elementy belki ażurowej: półka górna 6, półka dolna 7, górna część środnika 8, dolna część środnika 9. Na fig. 13 pokazano przekrój poprzeczny G-G przez belkę ażurową w miejscu styku części 3 i 4, z oznaczeniem miejsca spoiny czołowej 5.

Na fig. 14 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego. Naprężenia ściskające σ_c w górnej części przekroju osiągają mniejsze wartości od naprężeń rozciągających σ_t w dolnej części przekroju. Wynika to z tego, że środek ciężkości przekroju nie znajduje się w środku wysokości przekroju tylko bliżej półki górnej belki ażurowej 6.

Kształtownik 11, z którego zrobiona jest górną część belki ażurowej 3, wykonany jest ze stali o niższej granicy plastyczności względem kształtownika 12, z którego zrobiona jest dolna część belki ażurowej 4. Stal o wyższej granicy plastyczności zastosowana jest zatem tylko w dolnej części belki ażurowej 4, a więc tam, gdzie naprężenia normalne przy zginaniu osiągają największą wartość – σ_t . W tym przykładzie zastosowano stal S235 dla kształtownika 11 oraz stal S355 dla kształtownika 12.

Możliwe jest użycie innych kształtowników np.: kształtowniki typu IPE, IPEA, IPEAA, IPN, HEA, HEAA, HEB, HEM o wysokości od 80 mm do 1000 mm ze stali S235, S275, S355, S460. Kształtowniki użyte w procesie produkcyjnym mogą mieć długość do 15000 mm. Możliwe jest formowanie belki ażurowej o długości przekraczającej 15000 mm przez zastosowanie czołowych połączeń spawanych. Inne przykłady realizacji belki zgodnie z wynalazkiem:

- Część górna belki: HEA 200 ze stali S235; część dolna belki: IPE 240 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 100 ze stali S275; część dolna belki: IPE 140 ze stali S460;
- Część górna belki: HEB 400 ze stali S355; część dolna belki: IPEA 500 ze stali S460.

Przykład 2

Belka ażurowa o otworach okrągłych i kształcie krzywej wycięcia składającej się z odcinków równoległych do osi belki oraz odcinków, które stanowią połowę okręgu.

Jak pokazano na fig. 19–21, według wynalazku belkę ażurową budują w zasadniczej konstrukcji dwa różne kształtowniki pod względem geometrii przekroju poprzecznego oraz klasy stali użytej przy produkcji kształtowników.

Na fig. 15 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowalcowany 11, który po przecięciu zgodnie z krzywymi wycięcia 2 tworzyć będzie górną część belki ażurowej 3 widoczną na fig. 19. Kształtownik 11 jest dwuteownikiem szerokostopowym o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju – w tym przykładzie jest to HEB 300. Na fig. 16 pokazano przekrój

poprzeczny H-H przez kształtownik 11 przed przecięciem. Część środka znajdująca się między krzywymi wycięcia 2 po wycięciu zostaje odpadem.

Na fig. 17 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowałcowany 12, który po przecięciu zgodnie z krzywymi wycięcia 2 tworzyć będzie dolną część belki ażurowej 4 widoczną na fig. 19. Kształtownik 12 jest dwuteownikiem o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju – w tym przykładzie jest to IPE 300. Na fig. 18 pokazano przekrój poprzeczny I-I przez kształtownik 12 przed przecięciem. Część środka znajdująca się między krzywymi wycięcia 2 po wycięciu zostaje odpadem.

Na fig. 19 przedstawiona w widoku bocznym jest belka ażurowa. Części 3 i 4 ustawia się na sobie i łączy za pomocą spoiny czołowej 5 w miejscach styku. Na fig. 20 pokazano przekrój poprzeczny J-J przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. W przekroju tym oznaczono elementy belki ażurowej: półka górna 6, półka dolna 7, górna część środka 8, dolna część środka 9. Na fig. 21 pokazano przekrój poprzeczny K-K przez belkę ażurową w miejscu styku części 3 i 4, z oznaczeniem miejsca spoiny czołowej 5.

Na fig. 22 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego. Naprężenia ściskające s_c w górnej części przekroju osiągają mniejsze wartości od naprężeń rozciągających s_t w dolnej części przekroju. Wynika to z tego, że środek ciężkości przekroju nie znajduje się w środku wysokości przekroju tylko bliżej półki górnej belki ażurowej 6.

Kształtownik 11, z którego zrobiona jest górna część belki ażurowej 3, wykonany jest ze stali o niższej granicy plastyczności względem kształtownika 12, z którego zrobiona jest dolna część belki ażurowej 4. Stal o wyższej granicy plastyczności zastosowana jest zatem tylko w dolnej części belki ażurowej 4, a więc tam, gdzie naprężenia normalne przy zginaniu osiągają największą wartość – s_t . W tym przykładzie zastosowano stal S235 dla kształtownika 11 oraz stal S355 dla kształtownika 12.

Przykład 3

Belka ażurowa o otworach sinusoidalnych i kształcie krzywej wycięcia składającej się z odcinków równoległych do osi belki oraz odcinków zaokrąglonych o zmiennym promieniu.

Jak pokazano na fig. 27–29, według wynalazku belkę ażurową budują w zasadniczej konstrukcji dwa różne kształtowniki pod względem geometrii przekroju poprzecznego oraz klasy stali użytej przy produkcji kształtowników.

Na fig. 23 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowałcowany 11, który po przecięciu zgodnie z krzywą wycięcia 2 tworzyć będzie górną część belki ażurowej 3 widoczną na fig. 27. Kształtownik 11 jest dwuteownikiem szerokostopowym o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju – w tym przykładzie jest to HEB 300. Na fig. 24 pokazano przekrój poprzeczny L-L przez kształtownik 11 przed przecięciem.

Na fig. 25 przedstawiony w widoku bocznym jest kształtownik gorącowałcowany 12, który po przecięciu zgodnie z krzywą wycięcia 2 tworzyć będzie dolną część belki ażurowej 4 widoczną na fig. 27. Kształtownik 12 jest dwuteownikiem o wąskich półkach, a więc o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju – w tym przykładzie jest to IPE 300. Na fig. 26 pokazano przekrój poprzeczny M-M przez kształtownik 12 przed przecięciem.

Na fig. 27 przedstawiona w widoku bocznym jest belka ażurowa. Części 3 i 4 ustawia się na sobie i łączy za pomocą spoiny czołowej 5 w miejscach styku. Na fig. 28 pokazano przekrój poprzeczny N-N przez belkę ażurową w miejscu, w którym otwór ma największą wysokość. W przekroju tym oznaczono elementy belki ażurowej: półka górna 6, półka dolna 7, górna część środka 8, dolna część środka 9. Na fig. 29 pokazano przekrój poprzeczny O-O przez belkę ażurową w miejscu styku części 3 i 4, z oznaczeniem miejsca spoiny czołowej 5.

Na fig. 30 pokazano rozkład naprężeń normalnych przy zginaniu belki o schemacie belki swobodnie podpartej przy zginaniu belki od obciążenia grawitacyjnego. Naprężenia ściskające s_c w górnej części przekroju osiągają mniejsze wartości od naprężeń rozciągających s_t w dolnej części przekroju. Wynika to z tego, że środek ciężkości przekroju nie znajduje się w środku wysokości przekroju tylko bliżej półki górnej belki ażurowej 6.

Kształtownik 11, z którego zrobiona jest górna część belki ażurowej 3, wykonany jest ze stali o niższej granicy plastyczności względem kształtownika 12, z którego zrobiona jest dolna część belki ażurowej 4. Stal o wyższej granicy plastyczności zastosowana jest zatem tylko w dolnej części belki

ażurowej 4, a więc tam gdzie naprężenia normalne przy zginaniu osiągają największą wartość – st. W tym przykładzie zastosowano stal S235 dla kształownika 11 oraz stal S355 dla kształownika 12.

Przykład 4 – badanie efektów belki ażurowej według przykładu 1.

Sposób badania efektów:

Na potrzeby potwierdzenia korzystnych właściwości opisanego wynalazku przeprowadzono obliczenia numeryczne z użyciem metody elementów skończonych w programie Abaqus – licencja: laboratorium Molanotte. Obliczenia wykonano dla belek ażurowych o otworach sześciokątnych, swobodnie podpartych opisanych w przykładzie 1. Model numeryczny w programie Abaqus przedstawiono na fig. 31. Modelowane belki miały długość całkowitą 6400 mm i rozstaw podpór 6000 mm. Aby wykluczyć możliwość lokalnego zniszczenia nad podporą środkową w tej strefie nie posiada otworów oraz dodane zostało żebro podporowe 13. Belki są obciążone ciężarem własnym obliczonym na podstawie grubości elementów oraz parciem równomiernie rozłożonym na półce górnej belki (obciążenie dominujące). Powierzchnię przyłożenia obciążenia równomiernego oznaczono jako 14 na fig. 31. Modele były siatkowane za pomocą elementów powłokowych S4R, rozmiar elementów wynosił od 6 mm do 10 mm w zależności od wymiarów belki. Przyjęto sprężysto-plastyczny model materiału o następujących właściwościach: moduł Younga = 210 GPa, liczba Poissona = 0,3. Granica plastyczności oraz wytrzymałość przy zerwaniu zostały dobrane zgodnie z klasą stali użytą w danym modelu. Kształt wycięcia dobrano tak aby stosunek wysokości otworu do wysokości belki był zbliżony w każdym z przypadków, dla wysokości kształownika kolejno: 100 mm, 140 mm, 200 mm, 300 mm, wysokość otworu w belce ażurowej wynosiła: 80 mm, 120 mm, 160 mm, 240 mm.

Wykonano 17 modeli numerycznych, w tym 14 dla belek ażurowych stosowanych obecnie:

- Część górna belki: IPE 100 ze stali S355; część dolna belki: IPE 100 ze stali S355;
- Część górna belki: IPE 140 ze stali S355; część dolna belki: IPE 140 ze stali S355;
- Część górna belki: IPE 200 ze stali S355; część dolna belki: IPE 200 ze stali S355;
- Część górna belki: IPE 300 ze stali S355; część dolna belki: IPE 300 ze stali S355;
- Część górna belki: IPE 100 ze stali S235; część dolna belki: IPE 100 ze stali S235;
- Część górna belki: IPE 140 ze stali S235; część dolna belki: IPE 140 ze stali S235;
- Część górna belki: IPE 200 ze stali S235; część dolna belki: IPE 200 ze stali S235;
- Część górna belki: IPE 300 ze stali S235; część dolna belki: IPE 300 ze stali S235;
- Część górna belki: HEA 100 ze stali S355; część dolna belki: HEA 100 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 140 ze stali S355; część dolna belki: HEA 140 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 200 ze stali S355; część dolna belki: HEA 200 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 100 ze stali S235; część dolna belki: HEA 100 ze stali S235;
- Część górna belki: HEA 140 ze stali S235; część dolna belki: HEA 140 ze stali S235;
- Część górna belki: HEA 200 ze stali S235; część dolna belki: HEA 200 ze stali S235;

oraz 3 modele dla belek wykonanych zgodnie z wynalazkiem:

- Część górna belki: HEA 100 ze stali S235; część dolna belki: IPE 100 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 140 ze stali S235; część dolna belki: IPE 140 ze stali S355;
- Część górna belki: HEA 200 ze stali S235; część dolna belki: IPE 200 ze stali S355.

Dla każdej z belek przeprowadzono liniową analizę wyboczeniową (LBA) oraz analizę statyczną. W analizie statycznej do modelu wprowadzana była wstępna imperfekcja odpowiadająca zwichrzeniu belki swobodnie podpartej (obróć przekroju w strefie centralnej belki) o amplitudzie 10 mm. Na fig. 32 przedstawiono postać wyboczenia z LBA odpowiadającą zwichrzeniu belki swobodnie podpartej. Po wprowadzaniu imperfekcji przeprowadzane były obliczenia statyczne kolejno z ciężarem własnym oraz obciążeniem równomiernie rozłożonym na pasie górnym. Wynikiem obliczeń jest nośność graniczna belki.

Wyniki obliczeń przedstawiono na fig. 33. Na osi poziomej znajduje się masa belki obliczona z uwzględnieniem żebra, części środkowej bez otworów oraz przewieszenia. Na osi pionowej przedstawiono nośność poszczególnych belek, obciążenie równomiernie rozłożone sprowadzone do jednej siły oraz ciężar własny. Wyniki obliczeń przedstawiono jako punkty na wykresie, linie między punktami dodano jako pomocnicze na potrzeby oceny wynalazku.

Wnioski główne z obliczeń numerycznych:

- Punkty na wykresie opisujące belki wykonane zgodnie z wynalazkiem (trójkąt) znajdujące się nad liniami łączącymi punkty oznaczające belki stosowane dotychczas pokazują, że przez zastosowanie wynalazku możliwe jest kształtowanie belek o stosunku nośność/masa korzystniejszym niż obecnie stosowane.

- Np. belka HEA 100 S235 / IPE 100 S355 przy masie 79,2 kg posiada nośność 25,1 kN, a belka IPE 140 S355 / IPE 140 S355 przy masie 86,1 kg posiada nośność 19,9 kN. Belka zgodna z wynalazkiem przy masie mniejszej o 8% osiąga nośność wyższą o 26%.
- W przypadku belki HEA 200 S235 / IPE 200 S355 punkt na wykresie przecina się z linią łączącą belki powstałe przy użyciu kształtowników HEA ze stali S355.

Wnioski ogólne:

- W analizie nie została uwzględniona różnica cen stali ze względu na jej niewielkie znaczenie między klasami stali S235 i S355 (nie więcej niż 5%), jednak fakt użycia słabszej (tańszej) stali w znacznej części belki (ponad 50%) jest korzystny dla stosunku nośność/cena.
- Różnice w cenach stali mogą mieć większy wpływ w przypadku użycia stali wyższych wytrzymałości np. S460.
- Wyniki analiz numerycznych nie przedstawiają bezpośrednio nośności jakie będą posiadać belki wykonywane zgodnie z wynalazkiem, są jednak (przez porównanie z obecnie stosowanymi belkami przy poczynionych założeniach) wstępnym potwierdzeniem korzystnych właściwości opisanego wynalazku.
- W późniejszym etapie istnieje możliwość optymalizacji belki przez zmianę kształtu wycięcia.

Zastrzeżenia patentowe

1. Belka ażurowa wykonana na bazie dwuteownika gorącowalcowanego, **znamienna tym**, że budowana jest w zasadniczej z górnej części (3) i dolnej części (4), zaś każda z części budowana jest z połowy przeciętego dwuteownika gorącowalcowanego innego typu wzdłuż krzywej cięcia (2) o dowolnym kształcie krzywej, przy czym górna część (3) jest wykonana z dwuteownika gorącowalcowanego szerokostopowego o zbliżonych momentach bezwładności względem obu osi głównych przekroju, a dolna część (4) wykonana jest z dwuteownika gorącowalcowanego o wąskich półkach o momencie bezwładności względem poziomej osi głównej przekroju znacznie większym od momentu bezwładności względem pionowej osi głównej przekroju, a ponadto krzywa cięcia jest tak wyznaczona aby po złączeniu dwóch części belki pomiędzy częściami uzyskać otwory w środku przebiegające wzdłuż belki.
2. Belka według zastrz. 1, **znamienna tym**, że część górna (3) z częścią dolną (4) połączone są spoiną czołową trwale.
3. Belka według zastrz. 1, **znamienna tym**, że w zależności od kształtu krzywej cięcia (2) otwory są sześciokątne lub sinusoidalne lub okrągłe.
4. Belka według zastrz. 1, **znamienna tym**, że górna część (3) zbudowana jest z części dwuteownika typu HEA lub HEAA lub HEB lub HEM, zaś dolna część (4) z części dwuteownika typu IPE lub IPEA lub IPEAA lub IPN.
5. Belka według zastrz. 1, **znamienna tym**, że dwuteownik, z którego wykonana jest górna część (3), wykonany jest ze stali o niższej granicy plastyczności względem dwuteownika, z którego wykonana jest dolna część (4).

Rysunki

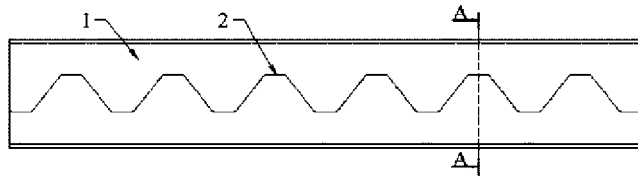


Fig. 1



Fig. 2

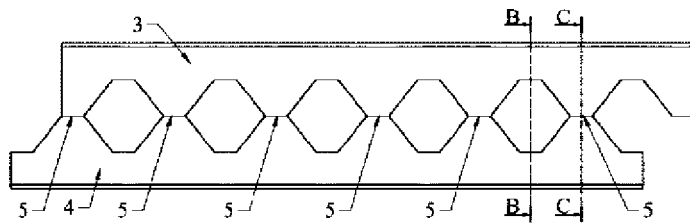


Fig. 3

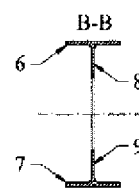


Fig. 4

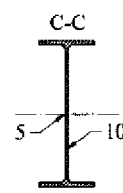


Fig. 5



Fig. 6

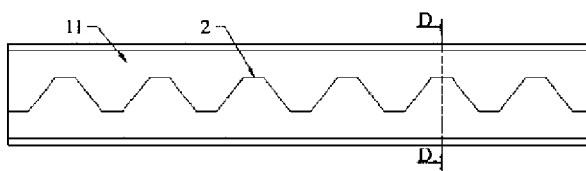


Fig. 7

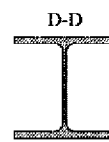


Fig. 8

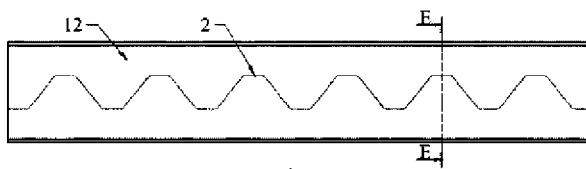


Fig. 9



Fig. 10

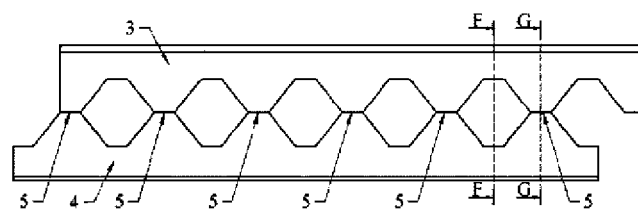


Fig. 11

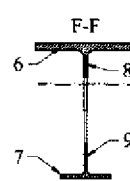


Fig. 12

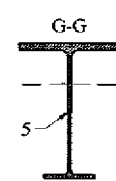


Fig. 13



Fig. 14

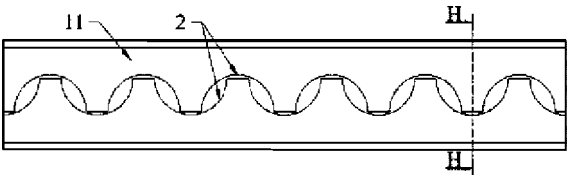


Fig. 15



Fig. 16

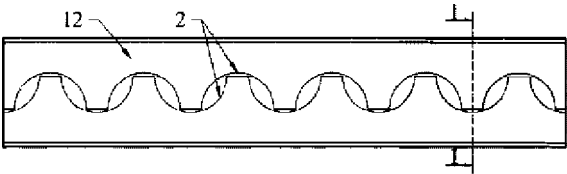


Fig. 17



Fig. 18

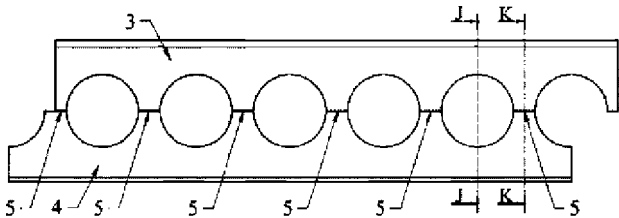


Fig. 19

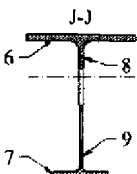


Fig. 20

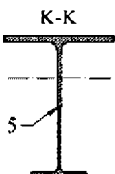


Fig. 21

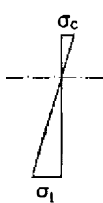


Fig. 22

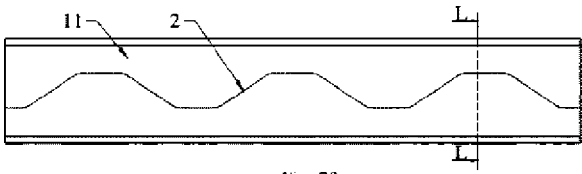


Fig. 23

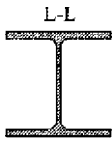


Fig. 24

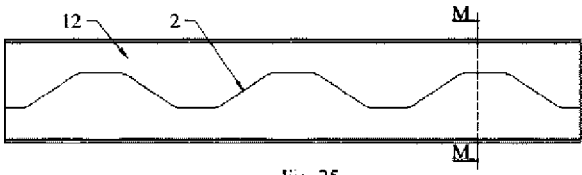


Fig. 25



Fig. 26

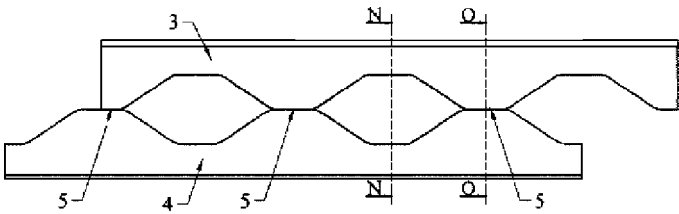


Fig. 27

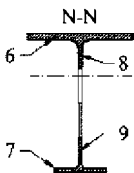


Fig. 28

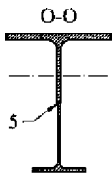


Fig. 29

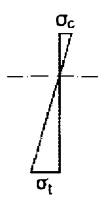
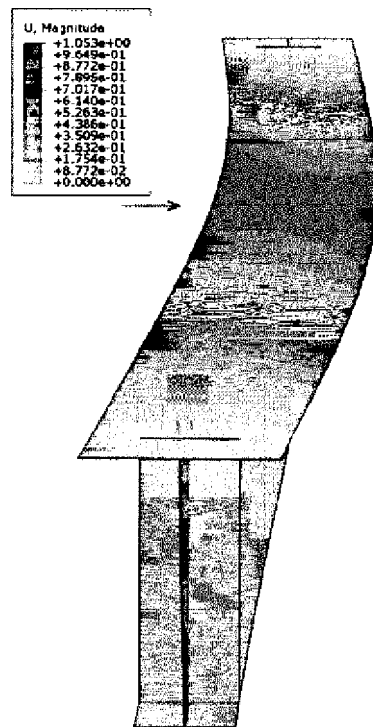
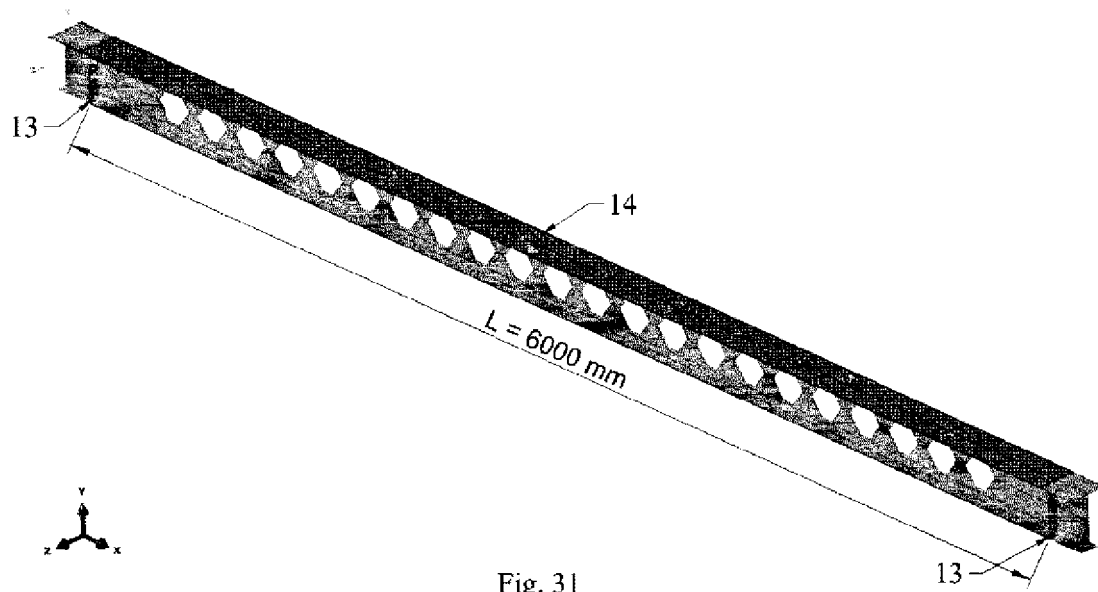


Fig. 30



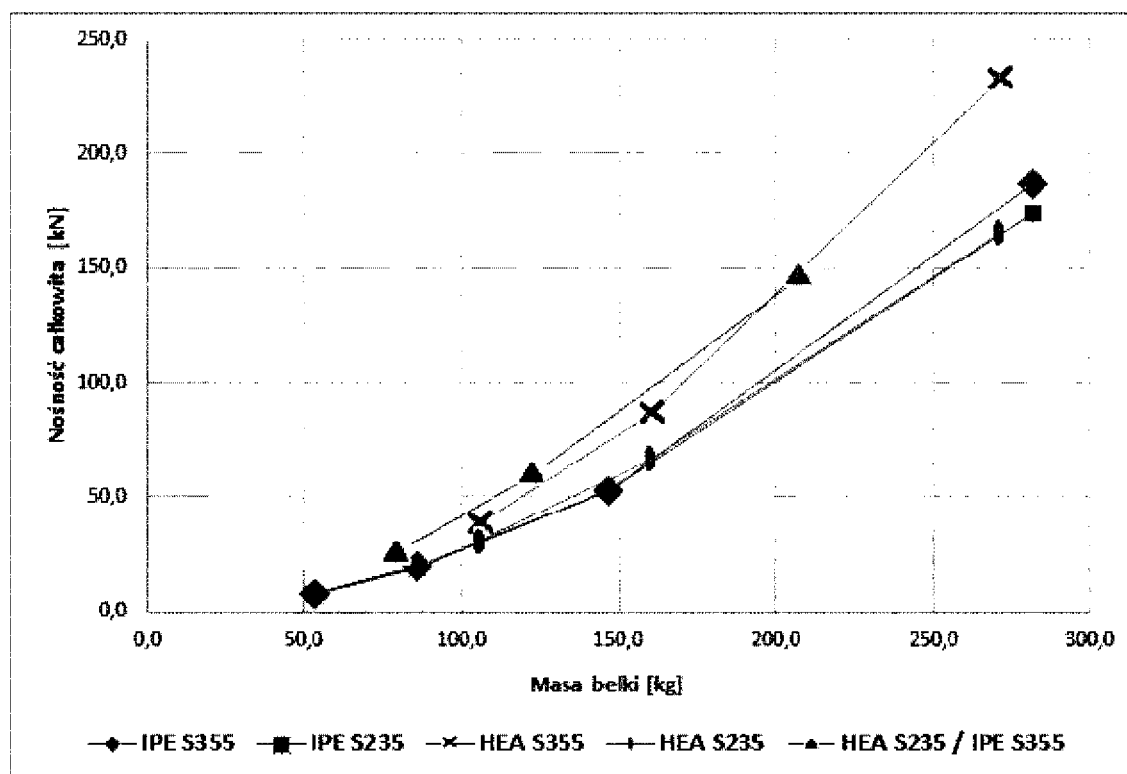


Fig. 33