ArcelorMittal Europe - Long Products
Sections and Merchant Bars

ArcelorMittal

ACB®

Belki azurowe z otworami kołowymi

Inteligentne rozwiązanie dla dużych rozpiętości

Spis treści

1. Wstęp 3
2. Zakres zastosowanie 4
3. Idea – prefabrykacja 6
4. Tolerancje wykonania belek ACB® 13
5. Symetryczne belki ażurowe dla konstrukcji dachowych oraz przekryć stalowych 15
6. Niesymetryczne belki ażurowe dla konstrukcji stropów zespolonych 21
7. Stateczność w trakcie pożaru oraz bezpieczeństwo pożarowe 25
8. Tabele projektowe belek ACB® 27
9. Tabele projektowe: przykład projektowy 35
10. Oprogramowanie projektowe ACB+ 38
11. Belki ACB®: rozwiązanie dla zrównoważonego rozwoju 39
12. Angelina™ najnowsza belka ażurowa z sinusoidalnymi otworami 42

Wsparcie techniczne i prefabrykacja 45

Wasz partner 45

1. Wstęp

W przeciągu ostatnich dziesięciu lat liczba zastosowań belek ażurowych w realizacjach konstrukcji stalowych jak również w opracowaniach nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych stale rośnie.

Zastosowanie belki ażurowej pozwala na nowy wymiar architektonicznej ekspresji. Elementy posiadają charakterystyczną lekkość pozwalając jednocześnie na pokonywanie znacznych rozpiętości, otwierając tym samym nowe przestrzenie. Elastyczność aplikacji idzie w parze z funkcjonalnością, pozwalając na swobodne prowadzenie przewodów instalacyjnych w otworach belek. Lekki wygląd połączony z wysoką wytrzymałością stale inspiruje architektów do tworzenia nowych, zaskakujących form.

Rozwój konstrukcji belek ażurowych wpłynął na poprawienie istotnych właściwości, które pozwalają na jeszcze szersze ich zastosowanie:

- **Produkcja**

Optymalizacja procesów produkcji (wycinania, gięcia itp.) pozwala na swobodne dopasowanie rozwiązania do wymagań projektowych oraz gwarantuje szybką dostawę gotowej belki.

- **Normalizacja**

Eurokody (Eurokod 3 dla konstrukcji stalowych oraz Eurokod 4 dla konstrukcji zespolonych) daje wytyczne do obliczania wytrzymałości dla normalnych przypadków obciążeniowych, obciążeń ogniem oraz wykorzystania wysokowytrzymałościowych stali S460.

- **Rozwiązania zespolone**

Do rozwinięcie różnych aspektów istoty zespolenia stali i żelbetu – utworzenia zespolenia, wykorzystania przekładek pływających, odporności ogniowej, komfortu użytkowania oraz trwałości – przyczyniło się zastosowanie stropowych belek ażurowych ACB®

- **Narzędzia projektowe**

Opracowany przez ArcelorMittal wydajny program do projektowania i wymiarowania belek ażurowych (oprogramowanie ACB), dedykowane jest projektantom i architektom. Metody obliczeń zastosowane w programie są efektem prób prowadzonych na pełnowymiarowych elementach oraz wielu symulacji komputerowych.

2. Zakres zastosowania

1. Dźwigary dachowe

Wykorzystanie dachowych dźwigarów ażurowych pozwala na pokonywanie rozpiętości do około 40 metrów. Konkurencyjność zastosowania belek ACB®, jako elementów niezależnych (belka wolnopodparta), lub ciągłych (ustroje ramowe), wynika ze zachowania właściwości belek kratowych przy jednoczesnym uproszczeniu procesu oraz ograniczeniu kosztów prefabrykacji. Belki ACB® oferują architektom atrakcyjne oraz praktyczne rozwiązanie pozwalające na swobodne wykorzystanie przestrzeni bez efektu jej przepełnienia.

Średnica otworu może stanowić do 80% całkowitej wysokości belki, natomiast odstęp pomiędzy nimi może być zredukowany do minimum potrzebnego do wykonania belki. Tak skonfigurowana belka ACB® dzięki przejrzystości swej formy swobodnie wpisuje się w projektowaną przestrzeń podkreślając jednocześnie jej charakter – wartość ta została doceniona przez architektów na całym świecie.

2. Dźwigary stropowe

Nowoczesne konstrukcje wymagają swobodnego prowadzenia instalacji technicznych (ogrzewania, wentylacji,klimatyzacji itp.) bez ograniczania przestrzeni użytkowej.

Wykorzystanie belki ACB® pozwala na realizację zamierzeń inwestorów. Rozwiązanie to gwarantuje nienaruszoną przestrzeń o rozpiętości do 18 metrów oraz nieograniczoną swobodę prowadzenia instalacji przez otwory w belkach.

Całkowita grubość stropu wynosi od 25 do 40cm mniej od rozwiązań konwencjonalnych. Dla budynków o wysokości 35 do 40 metrów oszczędność 20cm na grubości stropu pozwala na uzyskanie dodatkowego piętra.

Dla budynków o narzuconej liczbie pięter (od dwóch do sześciu pięter), zastosowanie belek ACB® pozwala zredukować ilość elementów fasadowych, słupów stabilizujących, ścianek działowych, klatek schodowych.

Rysunek 1: Belka dachowa ACB®

Rysunek 2: Renowacja z użyciem belek ACB®

3. Rozwiązania specjalistyczne

3.1. Renowacje

Zastosowanie belek ażurowych ACB® pozwala na zachowanie charakterystycznych cech historycznych budynków ich lekkości i estetyki, jednocześnie zwiększając wytrzymałość całej konstrukcji w pracach renowacyjnych lub modernizacji całych obiektów. (Rysunek 2).

3.2. Słupy i elementy fasadowe.

Konstrukcja słupa ażurowego ACB® to eleganckie rozwiązanie również dla elementów fasadowych. (Rysunek 3) Maksymalna efektywność uzyskiwania jest dla elementów obciążonych niewielką siłą osiową.

3.3. Dźwigary nośne parkingów samochodowych

Są cztery główne powody dla których warto zastosować stalowe dźwigary ażurowe ACB® w konstrukcjach parkingów samochodowych, dla których nie ma specjalnych wymagań przeciwpożarowych:

- wymagane rozpiętości rzędu 15-16m są z łatwością uzyskiwane,
- odprowadzanie wody uzyskiwane jest przez lekkie wygięcie belek nośnych,
- otwory w belkach poprawiają wygląd przestrzenny konstrukcji nośnej,
- otwory w belkach poprawiają cyrkulację powietrz oraz pozwalają na swobodne prowadzenie instalacji wentylacyjnych

3.4. Belki dla konstrukcji przybrzeżnych

Dla przypadków w których wymagane jest:

- połączenie lekkości i wytrzymałości konstrukcji,
- możliwość swobodnego prowadzenia przewodów,belki ażurowe nie wymagają dodatkowej rekomendacji. W celu podniesienia wytrzymałości elementów zaleca się stosowanie belek i słupów w gatunku stali HISTAR®.

Rysunek 3: Słupy ażurowe ACB®

3. Idea - prefabrykacja

Belki ażurowe ACB® są wytwarzane w zaawansowanym procesie prefabrykacji w zakładzie prefabrykacji belek ciężkich ArcelorMittal zlokalizowanym w sąsiedztwie huty w miejscowości Differdange (Luksemburg). Taka lokalizacja pozwala na znaczną redukcję kosztów transportu, podniesienie efektywności procesu produkcji oraz zagwarantowanie jakości wykonywanych produktów.

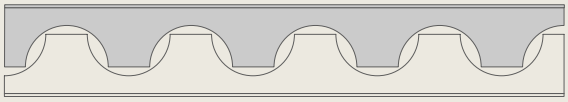
Opatentowana metoda prefabrykacji belek ACB® oparta jest na wykorzystaniu wyłącznie belek walcowanych na gorąco.

Podwójne wycięcia wykonywane są za pomocą palnika gazowego. Powstałe dwa profile teowe są przesuwane względem siebie i ponownie zespawywane, zwiększając tym samym wysokości gotowej belki (Rysunek 4).

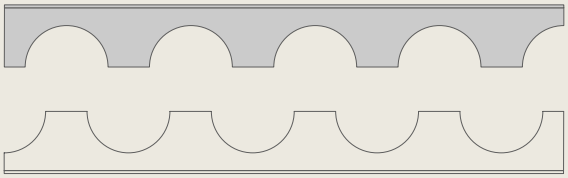
Poprzez zwiększenie wysokości, uzyskujemy zwiększenie momentu bezwładności bez konieczności podniesienia masy elementu.

Rysunek 4: Schemat wycinania belki ażurowej ACB®

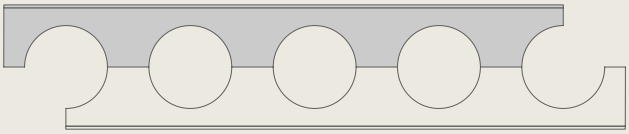
Etap 1:
wypalanie palnikiem tlenowym



Etap 2:
rozdzielenie profili teowych



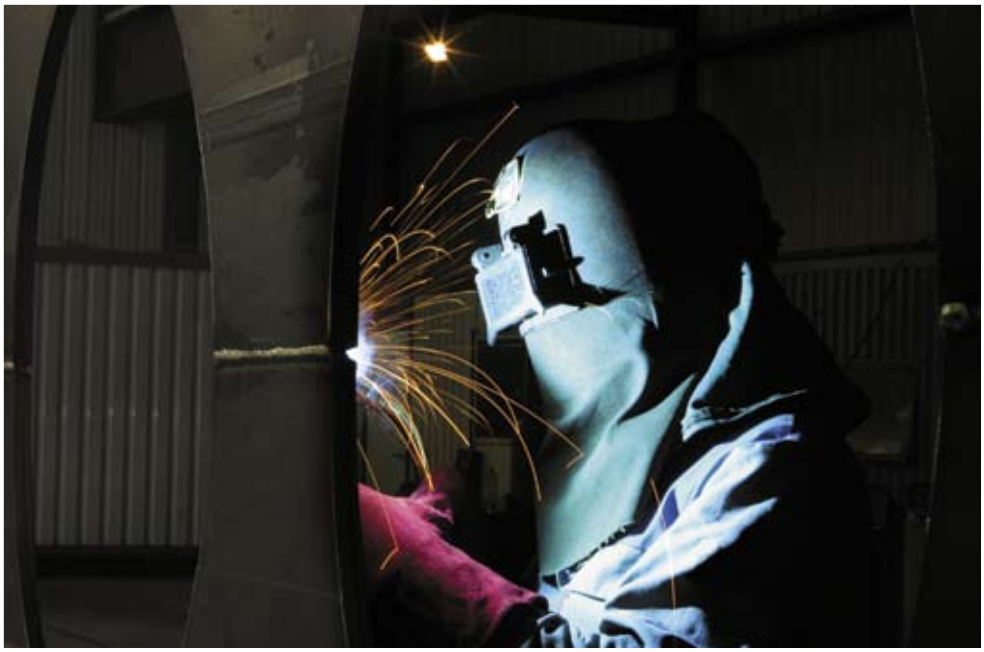
Etap 3:
ponowne złożenie i spawanie



Proces wycinania jest komputerowo sterowany w celu zapewnienia idealnego dopasowania otworów (Rysunek 5). Prefabrykacja kilku belek równolegle ogranicza koszty produkcji.

Schemat wycinania pokazuje wyraźnie że ilość spoin została zredukowana do minimum. Połączenia spawane są sprawdzane wizualnie lub na specjalne życzenie klienta w sposób określony w dokumentacji lub specyfikacji.

Rysunek 5: Stanowisko wypalania profii walcowanych na gorąco



Prefabrykacja belki ażurowej ACB®

1. Dobór średnicy oraz rozstawu otworów

Dla wybranego profilu bazowego istnieje niezliczona ilość możliwych kombinacji wielkości otwór oraz ich rozstawu (Rysunek 6). Ostateczny wybór parametrów w oparciu o poniższą regułę.

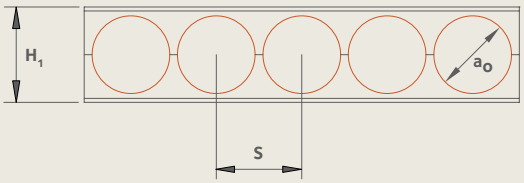
Finalna korekta rozstawu otworów o kilka milimetrów pozwala na wykonanie końcowych otworów na całej wysokości profilu.

Rysunek 6: Definiowanie parametrów belki ażurowej ACB®

Zadania:
Optymalizacja stosunku wysokość/masa

Profil bazowy (wysokość h)

Schemat projektowy 1



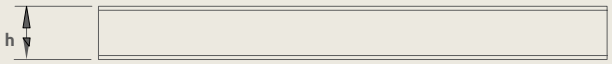
a_o = 1,0 to 1,3 h
S = 1,1 to 1,3 a_o
H_1 = 1,4 to 1,6 h

Zastosowanie:
Dachy
Kładki, przejścia dla pieszych
Płatwie o dużej rozpiętości

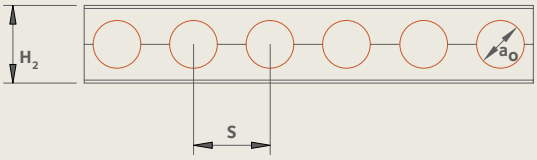
Stosowane gatunki stali:
S235, S275, S355

Zadania:
Optymalizacja stosunku wytrzymałość/masa

Profil bazowy (wysokość h)



Schemat projektowy 2



a_o = 0,8 to 1,1 h
S = 1,2 to 1,7 a_o
H_2 = 1,3 to 1,4 h

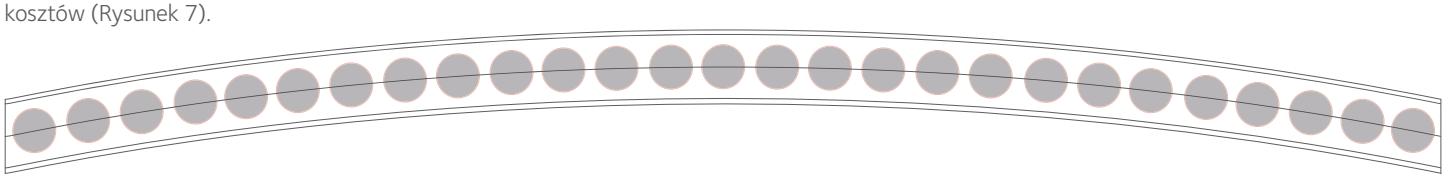
Zastosowanie:
Stropy
Parkingi samochodowe
Konstrukcje przybrzeżne
Słupy

Stosowane gatunki stali:
S355, S460, HISTAR®460

2. Dobór profilu podłużnego

2.1. Belki gięte lub ze wstępną strzałką ugięcia

W trakcie prefabrykacji można w prosty sposób wygiąć lub nadać wstępne odkształceń dwóm rofilom teowym (przed ponownym zespawaniem) tak aby otrzymać gotową wygiętą belkę ażurową bez dodatkowych kosztów (Rysunek 7).



Rysunek 7: Przykład wygiętej belki ACB®

Nadanie wstępnej strzałki ugięcia pozwala na uniknięcie niebezpiecznych ugięć elementów Proces ten jest szczególnie pomocny w procesie optymalizacji belek stropowych. Nadana krzywizna pozostaje niezmienna również po procesie galwanizacji.

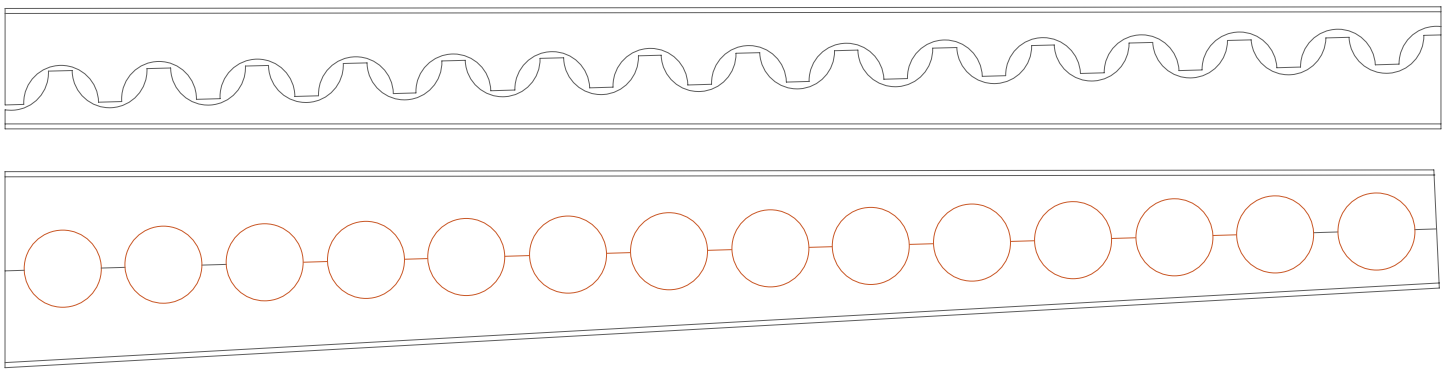
2.2. Belki o zmiennej wysokości

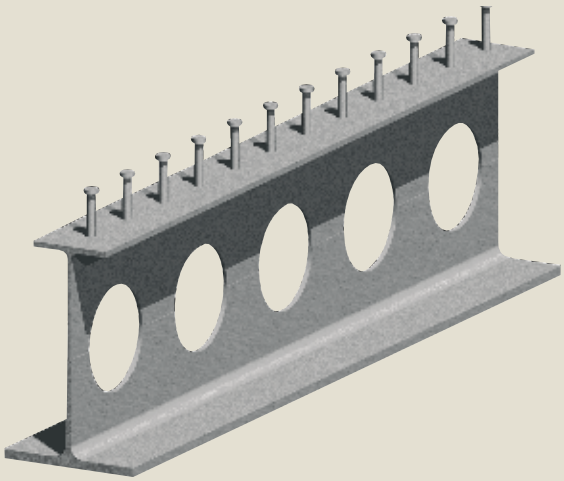
Belkę o zmiennej wysokości można łatwo uzyskać poprzez dobranie odpowiedniej ścieżki wypalania otworów a następnie przez obrócenie jednego z profili teowych w stosunku do drugiego (Rysunek 8).

Rozwiązania te są najczęściej stosowane jako:

- długie belki wspornikowe (trybuny stadionowe, ...),
- belki ciągłe (przejścia dla pieszych, ...),
- dźwigary ramowe.

Rysunek 8: Przykład belki ACB® o zmiennej wysokości (zmienny moment bezwładności)



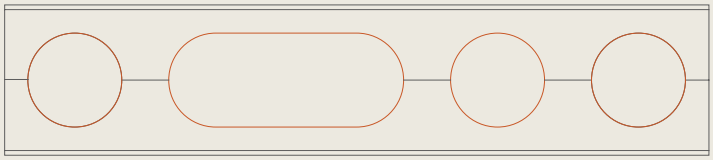


2.3. Belki asymetryczne

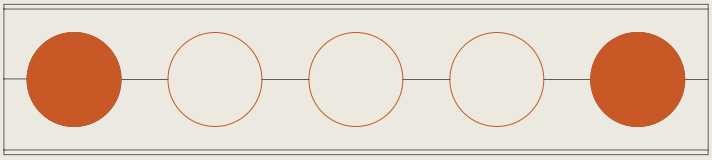
Belki asymetryczne znajdują szczególne zastosowanie w konstrukcjach zespolonych (w połączeniu z płytą stropową). Uzyskiwane są przez połączenie dwóch różnych profili teowych (różny rozmiar profil bazowego, różny gatunek stali) (Rysunek 9).

Belki ażurowe mają duży wkład w rozwój konstrukcj stropów zespolonych.

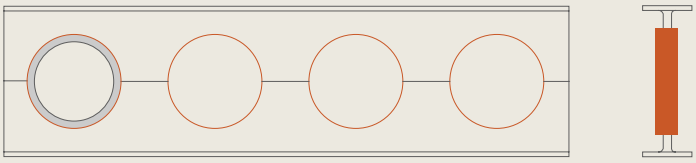
Rysunek 9: Przykład niesymetrycznej belki ACB®



Rysunek 10: Przykład belki ACB® z połączonymi otworami



Rysunek 11a: Przykład belki ACB® z otworami zamkniętymi



Rysunek 11b: Przykład belki ACB® ze wzmocnieniem otworów

2.4. Połączenie otworów

Czasami konieczna jest lokalne zwiększenie powierzchni otworów. Jeśli jest to możliwe powiększenie otworów powinno być prowadzone w środku rozpiętości belki (Rysunek 10), w strefie małych sił poprzecznych.
W przypadku gdy powiększenie musi być zlokalizowane w obszarze podpór, często stosuje się dodatkowe wzmocnienia obwodowe otworów.

2.5. Wypełnianie otworów

W celu przeniesienia dużych sił poprzecznych w obrębie otworów lub ze względów pożarowych, w niektórych przypadkach konieczne jest zamknięcie otworów (Rysunek 11a). Wykonuje się to poprzez umieszczenie w otworze okrągłej blachy i obspawanie jej z obu stron. Grubość płyty oraz grubość spoiny są zoptymalizowane pod kątem przeniesienia lokalnych sił.

2.6. Wzmocnienie obwodowe

Jeśli względy użytkowe lub estetyczne narzucają, w otworze może zostać umieszczony pierścień, który zwiększy sztywność otworu (Rysunek 11b).

Przykład belki ACB® z wypełnionymi otworami

Częściowo zamknięty otwór w miejscu połączenia

2.7. Wzmocnienie słupków środnika

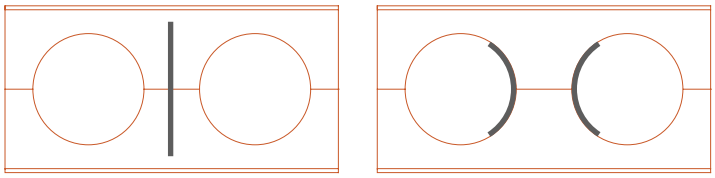
Wymogi dla użytkowania w stanach granicznych użytkowalności określają graniczne wartości sztywności ograniczające deformacje oraz wibracje. Konstrukcja oparta na belkach ażurowych może zostać pod tym kątem zoptymalizowana poprzez zwiększenie bezwładności elementów połączone ze zmniejszeniem grubośc środnika – rozwiązania oparte na kształtownikach IPE oraz IPE A.

Częstym problemem wśród projektantów jest obawa utraty stateczności słupków środnika w obrębie podpór, co ogranicza możliwości optymalizacji konstrukcji. Dla rozwiązań typowych można uwzględnić:

- zamknięcie niektórych otworów (skutkiem jest zmniejszenie dostępnej przestrzeni w obrębie belki),
- wzmocnienie obwodowe otworu (brak ograniczenia przestrzeni),
- zmiana profilu na mocniejszy,
- zmiana gatunku stali na wyższy (zwiększenie nośności).

Dodatkowe badania wykazały, że zastosowanie prostego żebra wzmacniającego jest wystarczające (Rysunek 12). Dwuczęściowa obejma może być również zastosowana.

Rysunek 12: Zabezpiecznie środnika przed wyboczeniem

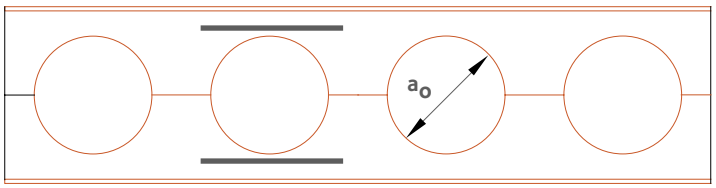


Prosta blacha Podwójny pół-pierścień

2.8. Przenoszenie obciążeń skupionych

Lokalne plastyczne odkształcenia w świetle otworu (najczęściej odizolowane otwory znajdujące się w sąsiedztwie skupionych obciążeń lub miejsc maksymalnych naprężeń) mogą być zredukowane przez zastosowanie blach wzmacniających wokół otworów (Rysunek 13)

Rysunek 13: Rozmieszczenie blach zabezpieczających przed deformacją otworu



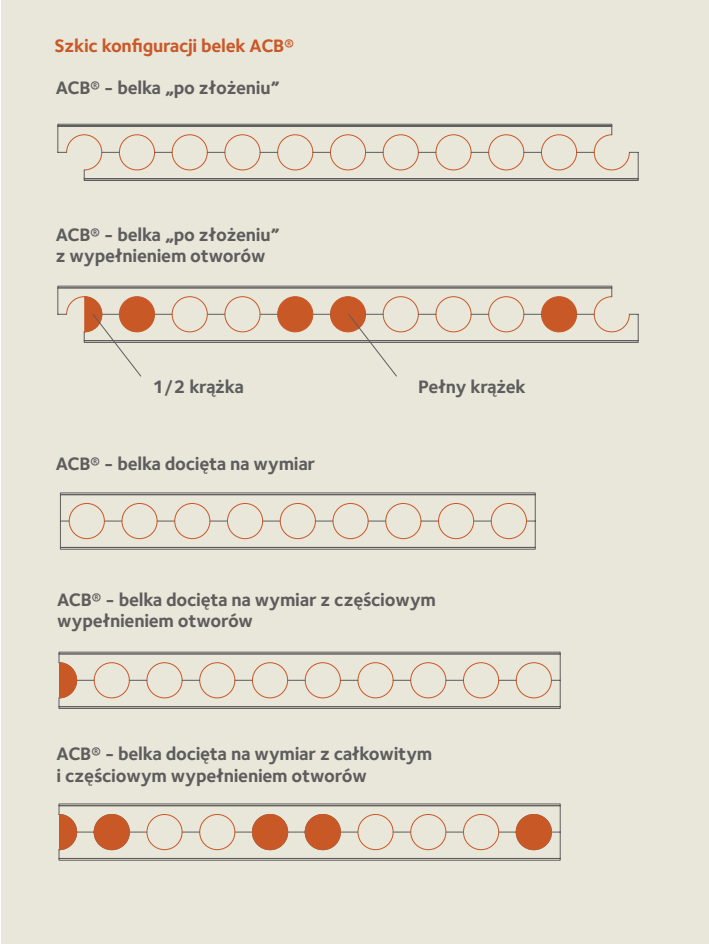
3. Spawanie

Prace spawalnicze są prowadzone przez wykwalifikowanych spawaczy (wg europejskich norm EN 287-1 dla spawania techniką MAG 135 oraz MAG 136). Spoiny czołowe są powszechnie stosowane przy prefabrykacji belek ACB®. Najczęściej grubość spoiny nie wymaga spawania na pełen przetop. Aby zatwierdzić model obliczeniowy wykorzystany w programie komputerowym ACB+ wykonano serię badań, dowodząc iż przyjęty model poprawnie dobiera grubość spoiny potrzebnej do przeniesienia obliczonej siły.

4. Rodzaje prefabrykacji

Przykłady dostępnych rozwiązań belek ACB® zostały przedstawione na Rysunku 14

Rysunek 14: Możliwości rozwiązań belek ACB®

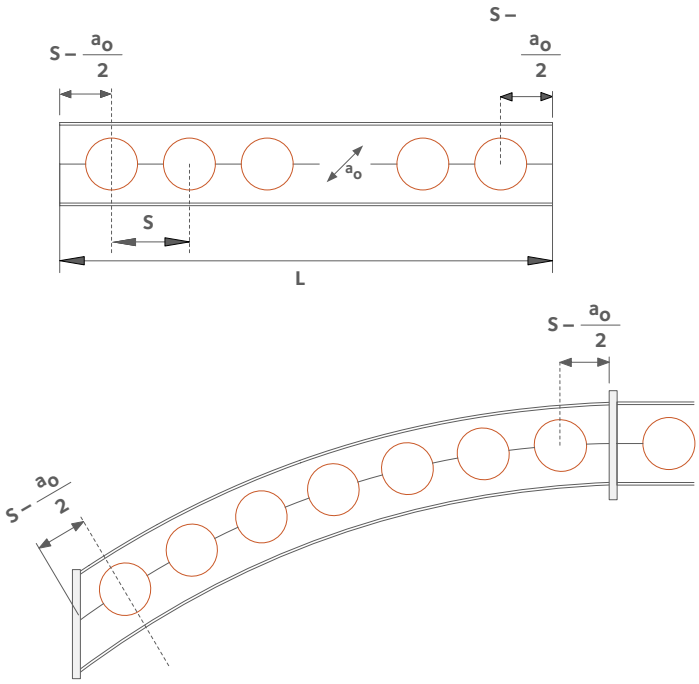


5. Łącznie belek ACB®

Projektując kompletny szkielet stalowy szczególną uwagę należy zwrócić na rozmieszczenie otworów w belce, aby uniknąć punktowego wypełniania otworów (Rysunek 15).

- Pierwszym krokiem jest zoptymalizowanie belki z punktu widzenia pracy elementu
- Krok drugi to ustalenie rozstawu otworów taka by na końcach belki nie występowały wycięcia. Rozstaw otworów można policzyć w oparciu o prostą formułę: $S = L + a_o / (n+1)$
  [n = ilość otworów]

Rysunek 15: Optymalizacja rozmieszczenia otworów



Hala sportowa w Limassol, Cypr

6. Połączenia elementów

W trakcie projektowania należy wziąć pod uwagę rozmieszczenie otworów oraz podpór, tak aby miejsca połączenia elementów zostały prawidłowo wykonane. W sytuacjach gdy onieczne jest częściowe lub całkowite zamknięcie otworu, rozwiązaniem prostym i ekonomicznym jest częściowe wypełnienie otworu (Rysunek 16).

7. Wyginanie belek ACB®

Wygięcie belki ACB® jest standardowym elementem procesu prefabrykacji.
Wygięcie może być zastosowane ze względu na:

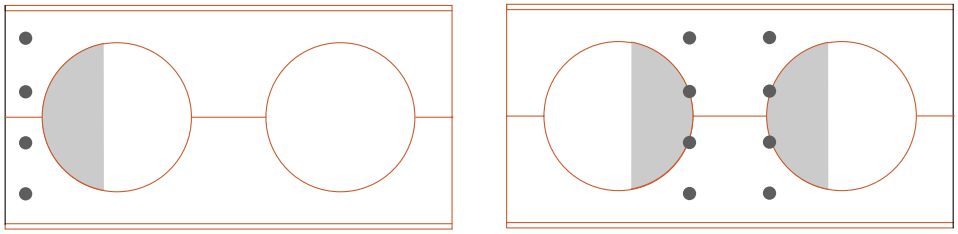
- wymagania architektoniczne dla elementów dachu,
- redukcji odkształceń wynikających z ciężaru stropu.

Inne formy wygięcia są oferowane na indywidualne zamówienie klienta, minimalna wartość strzałki ugięcia wynosi 15mm.

8. Ograniczenia produkcyjne

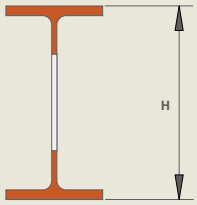
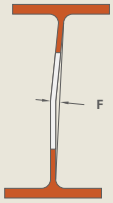
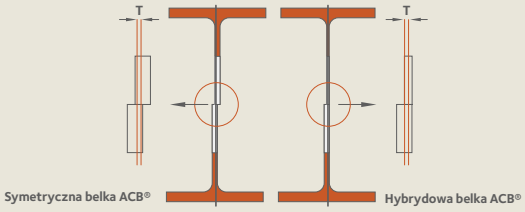
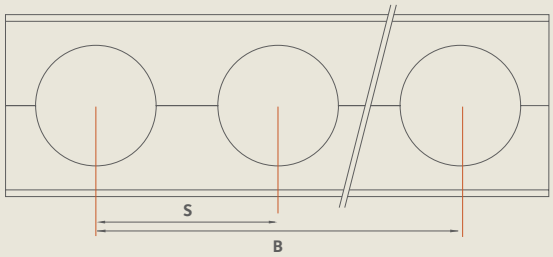
Ograniczenia w procesie prefabrykacji, np. minimalna odległość pomiędzy linią cięcia środnika i półką profilu lub minimalny promień gięcia dla zakrzywionych belek ACB, zostały zaimplementowane do oprogramowania ACB+ (rozdział 10. oprogramowanie ACB+). Projektowanie elementów w programie ACB+ pozwala na pełne wykorzystanie możliwości oraz swobodną aranżację wyglądu przyszłego elementu.

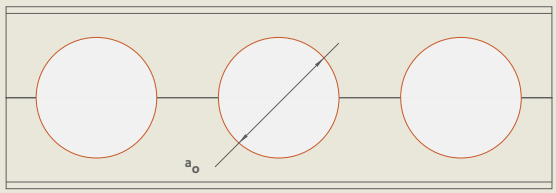
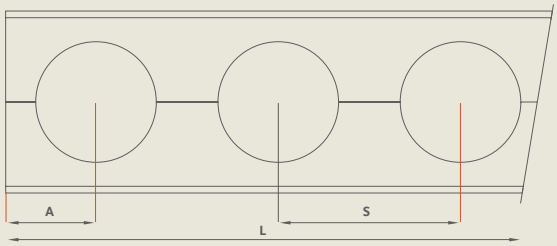
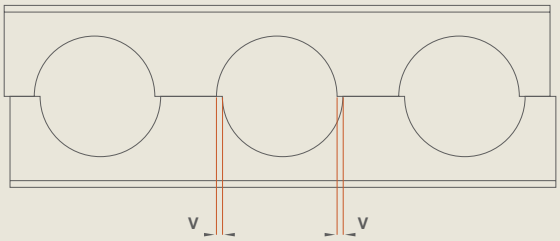
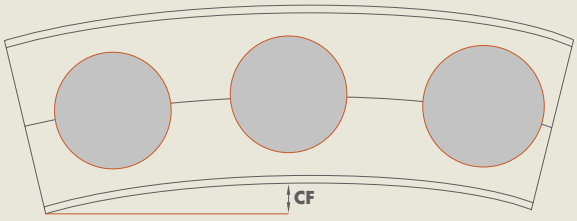
Rysunek 16: Przykład częściowo wypełnionych otworów przygotowanych pod połączenie



4. Tolerancje belek ACB®

Tolerancje belek ACB®

	Wysokość całkowita belki ACB® : **H**	H < 600 600 ≤ H < 800 H ≥ 800	+ 3 / - 5 mm + 4 / - 6 mm + 5 / - 7 mm
	Wygięcie środnika: **F**	H ≤ 600 H > 600	F ≤ 4 mm F ≤ 0,01 H
	Nieprostoliniowość teowników: **T** (pomiędzy osiami pasa górnego i dolnego)	T ≤ 2 mm	
	Rozstaw: **S** Rozstaw otworów brzegowych: **B**	+ / - 0,01 S + / - 0,02 S	

	Średnica: **a_o**	+ 5 / - 2 mm
	Długość: **L** Odległość pierwszego otworu od końca belki: **A**	+ / - 2 mm + /- 0,02 S
	Przsunięcie złożenia: **V**	V ≤ 0.03 % L Przykład: If L = 10000 mm V ≤ 3 mm
	Strzałka ugięcia: **CF**	+ / - 0,05 CF CF min. 5 mm

5. Symetryczne belki ażurowe w systemach dachowych oraz przekryciach stalowych

Belki ażurowe ACB® wykorzystywane w systemach dachowy oraz przekryciach stalowych są elementami o przekroju symetrycznym: pas górny oraz dolny belki są wykonane z tych samych profili (Rysunek 17).

Architekt ma szeroki wachlarz możliwości wyboru wielkości oraz rozstawu otworów.. Na podstawie tych dwóch zmiennych ustala się profil bazowy belki oraz wysokość całkowitą gotowego elementu ACB®.

Proces ten można odwrócić: dla założonej wysokości elementu oraz wielkości otworów, projektant może dobrać profil bazowy, który umożliwi realizację powyższych założeń.

1. Wsparcie projektowe

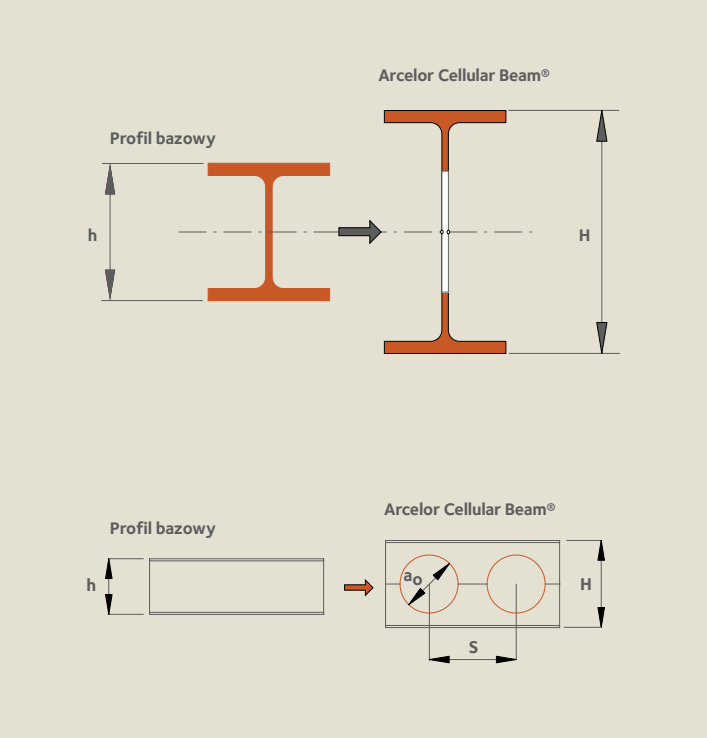
W przypadku przekrojów walcowanych na gorąco, w trakcie projektowania ustrojów opartych na belkach ACB® istotne jest bazowanie na wytycznych i wartościach granicznych, które pozwolą na maksymalne wykorzystanie właściwości tego typu materiału.

1.1. Dobór wysokości belki ACB®

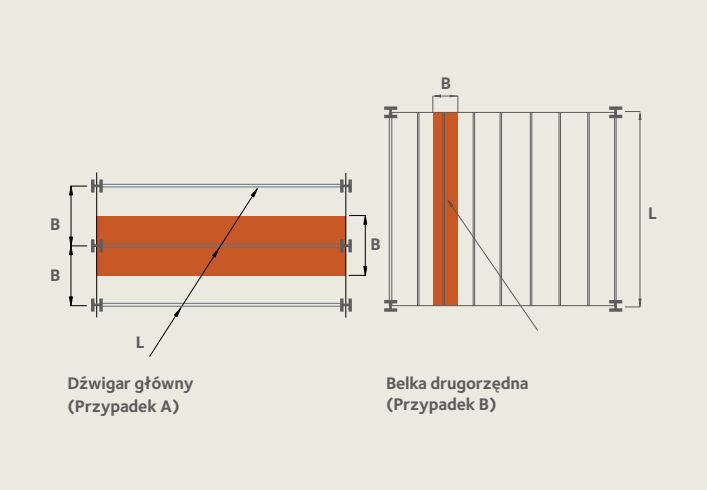
Wysokość H belki ACB® jest wypadkową funkcji (Rysunek 18):

- rozpiętości belki (L) oraz rozstawu poprzecznego belek (B),
- wartości obciążenia (dla konstrukcji dachów i przekryć),
- użycie belki ACB® jako dźwigara głównego (przypadek A) lub belki drugorzędnej (przypadek B),
- deformacji elementów (ograniczenie deformacji dla przypadków standardowych danego projektu).

Rysunek 17: Rozwiązanie symetrycznej belki ACB®

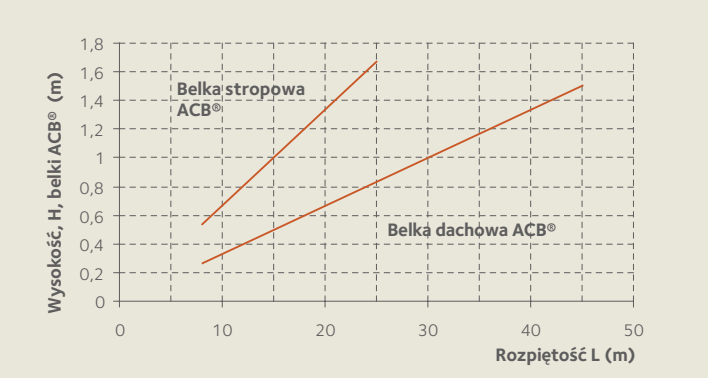


Rysunek 18: Podciąg stropowy na baize belki ACB®



Dla rozwiązań typowych wartości smukłości (stosunek rozpiętości do wysokości belki) wynoszą najczęściej 20 do 40, w zależności od warunków podparcia. Wartość 30 może stanowić punkt wyjściowy do projektowania belek drugorzędnych lub zamocowanych rygli ram (Rysunek 19).

Rysunek 19: Wysokość belki ACB® jako funkcja rozpiętości belki

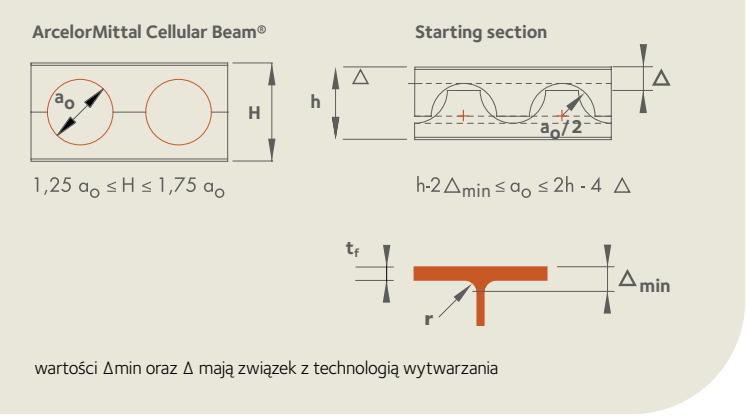


Dla podciągów stropów wartości smukłości wahają się od 10 do 20. Dla typowych obciążeń użytkowych, średnia wartość 15 może stanowić punkt wyjściowy do dalszego wymiarowania.

1.2. Wybór średnicy oraz rozstawu otworów.

Wybór wielkości oraz rozstawu otworów wynika najczęściej z wymogów architektonicznych (lekkość i przejrzystość formy) oraz wymogów funkcjonalności (przestrzeń do prowadzenia instalacji w otworach belek). Należy mieć na uwadze wartości graniczne, które gwarantują właściwą pracę belek ACB®. Graniczne wartości to:

Rysunek 20: Graniczne wartości wielkości otworów belek ACB®

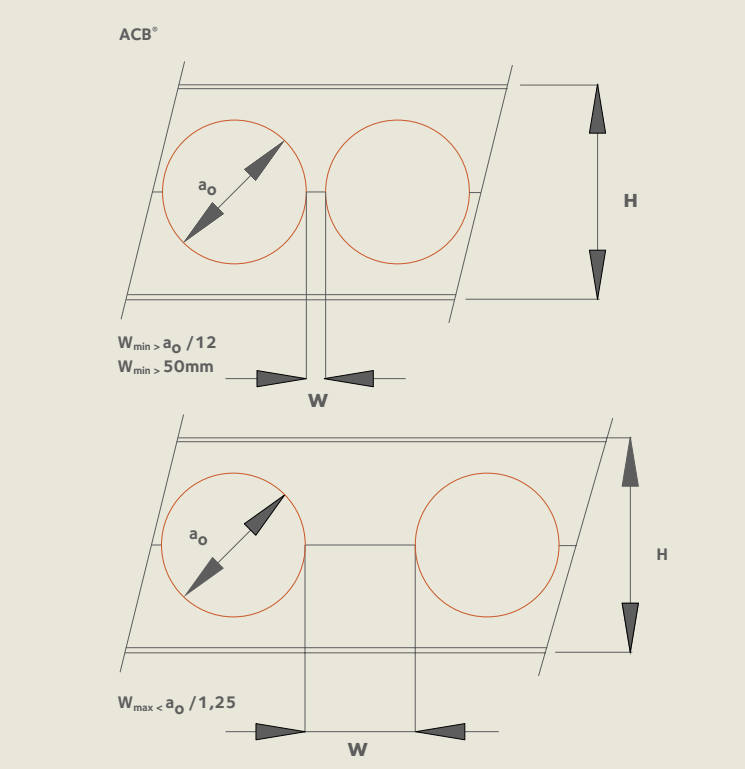


Średnica otworów (Rysunek 20) :

- względny co do właściwej belki ACB®
- względny co do profilu bazowego belki ACB®

Rozstaw otworów (Rysunek 21):
Należy przestrzegać określonych zasad w trakcie określana rozstawy otworów.

Rysunek 21: Wartości graniczne rozstawu otworów belki ACB®



Minimalny rozstaw wynika z zagwarantowania właściwego połączenia części belki ACB® oraz uniknięcia występowania lokalnych słabych punktów w pracy elementu.

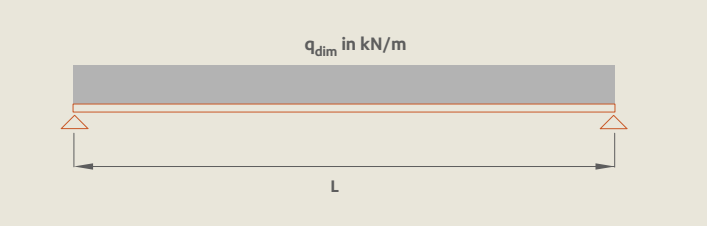
Maksymalny rozstaw jest wynikiem analizy wytrzymałościowej dla pracy belki oraz ekonomicznej dla procesu prefabrykacji.

2. Projekt wstępny oraz tablice wydajności belek ACB®

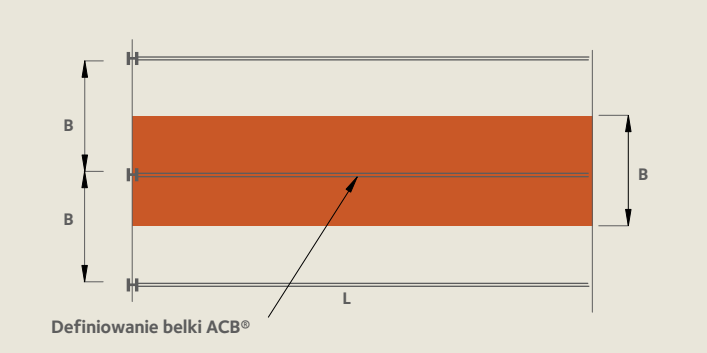
Na podstawie danych geometrycznych, przekrój belki ACB® może być dobrany na podstawie krzywych wydajnościowych (patrz strona 30 do 34 belki dachowe i przekrycia stalowe), przy następujących założeniach:

Obciążenia:

Rysunek 22: Zmienne do ustalania wartości na podstawie tablic wydajności belek ACB®



Obciążenie obliczeniowe, q_{dim}, porównywane z wartością obciążenia granicznego q_u.
Obciążenie, q_{dim}, obliczane na podstawie wzoru:
$q_{dim} = (1.35G + 1.5Q)B$



gdzie:
B = rozstaw poprzeczny belek
G = obciążenie stałem na m^2
Q = obciążenie zmienne na m^2

Metody obliczeniowe:

Projektant ma trzy sposoby ustalenia charakterystyki belki ACB®:

1) Określenie przekroju belki na podstawie warunku $q_{dim} \leq q_u$ oraz rozpiętości L, dla gatunków stali S355 lub S460 oraz dla typowych wartości a_o oraz S (średnica oraz rozstaw otworów).
$a_o = 1.05$ h; $S = 1.25\ a_o$ or $S = 1.5\ a_o$.
Dany przekrój odczytujemy z krzywej w punkcie przecięcia się prostych q_{dim} oraz L.
Wartość H jest wartością całkowitej wysokości belki ACB®.

2) Określenie wartości q_u dla danej belki ACB® jako funkcja L.
Z krzywej (q_u, L) belki ACB®, wartość obciążenia granicznego może zostać odczytana. Możliwe jest spełnienie warunku $q_{dim} \leq q_u$.

3) Określenie maksymalnej rozpiętości L, jako funkcji $q_{dim} \leq q_u$ dla danej belki ACB®.

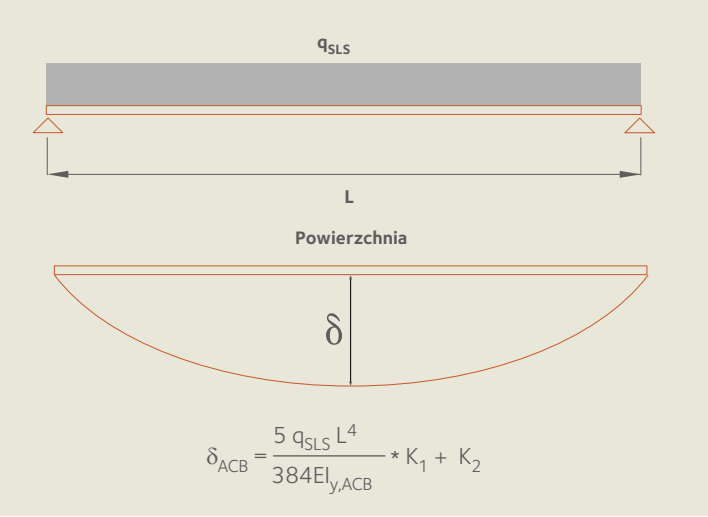
Przydatność tej metody wynika z możliwości bardzo szybkiego określenie maksymalnej rozpiętości belki pomiędzy podporami.

Dopuszczalne odkształcenia

Przedstawione krzywe opisują graniczne odkształcenia L/250 pod obciążeniem $q_{dim}/2$ (Rysunek 23).

Dla wartości obciążenia, które odbiega od podanych w tablicach, poniższa metoda może być zastosowywana na wstępnym etapie projektowania.

Rysunek 23: Obliczenie odkształcenia w środku rozpiętości dla równomiernie obciążonej belki ACB® o rozpiętości L



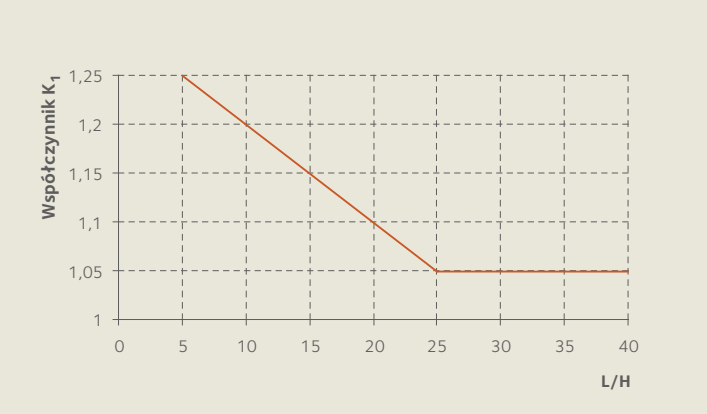
Założenia charakteru odkształcenia użyte do utworzenia krzywych wstępnego doboru profili ACB® (obciążenie stałe równoważne obciążeniu zmiennemu). Dla szybkie określenie odkształcenia wybranego profilu ACB® korzysta się z poniższego wzoru:

K_1 współczynnik, który uwzględnia smukłość (L/H) belki ACB®. Wartość współczynnika podana jest na podstawie krzywej (Rysunek 24a). Dla wartości smukłości powyżej 30, stała wartość wynosi $K_1 = 1.05$.

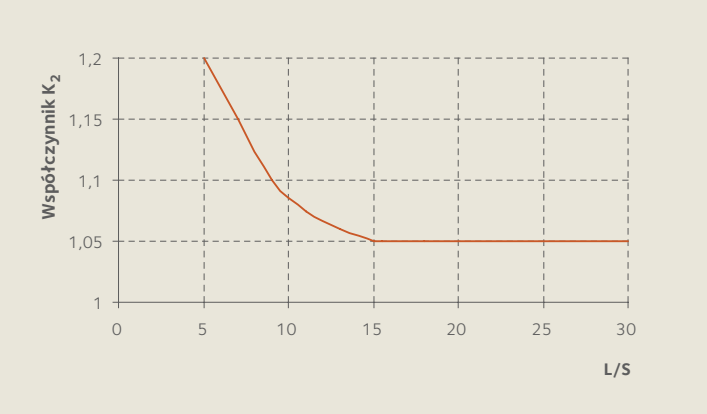
K_2 jest współczynnikiem uwzględniającym podatność belki ze względu na ilość otworów (funkcja L/S). Wartość współczynnika jest odczytywana z krzywej (Rysunek 24b). Dla wartości L/S powyżej 15, stała wartość współczynnika wynosi $K_2 = 1.05$.

E = moduł younga dla stali = 210 kN/mm^2
$I_{y,\ ACB}$ = moment bezwładności belki ACB®.
q_{SLS} = obciążenie dla SGU

Rysunek 24a: Wyznaczenie współczynnika K_1



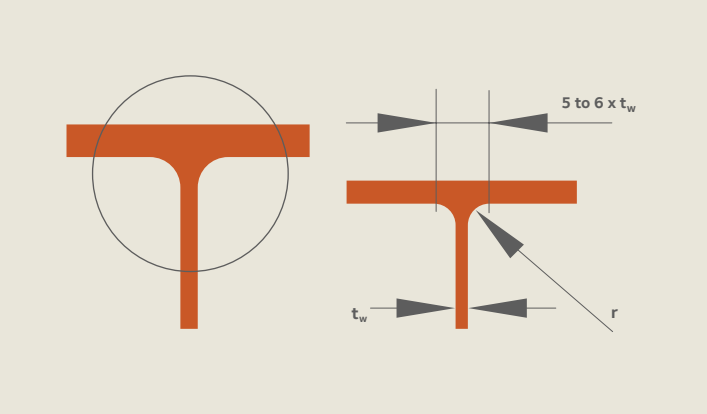
Rysunek 24b: Wyznaczenie współczynnika K_2



UWAGA:
Krzywe wstępnego doboru profilu belki ACB® uwzględniają korzystny wpływ połączenia stopki ze środnikiem profili walcowanych na gorąco (Rysunek 25).

Usztywnienie w miejscu połączenia pozwala uniknąć lokalnego wyboczenia środnika. Szerokość strefy usztywnienia dla belek ACB® może wynosić od 5 do 6 wielokrotności szerokości środnika belki.

Rysunek 25: Sztywne połączenie środnika ze stopką, szerokość strefy usztywnienia środnika przez stopkę.



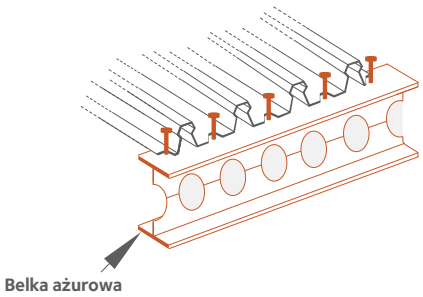
6. Niesymetryczne belki ażurowe w stropach zespolonych

Wykorzystanie niesymetrycznych belek ACB® (Rysunek 26) pozwala na zwiększenie wysokości światła pomieszczeń oraz rozpiętości belek redukując tym samym ilość słupów. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest osiągniecie rozpiętości aż do 30 metrów. Standardowe rozpiętości dla stropów w budynkach biurowych wynoszą około 18 metrów.

Belki ACB® oferują dobre właściwości mechaniczne oraz optymalizację zużycia stali przy jednoczesnym zachowaniu wymogów komfortu użytkowania oraz trwałości konstrukcji.

Rozstaw poprzeczny belek wynosi od 2,5 do 3 metrów dla przekryć stalowych oraz od 3 do 6 metrów dla prefabrykowanych płyt żelbetowych w zależności od ilość podpór tymczasowych. Rozstaw otworów wynosi około 1,25 do 1,5 wielokrotności średnicy otworu tj. około 300mm.

Rysunek 26: Niesymetryczna belka stropowa ACB®

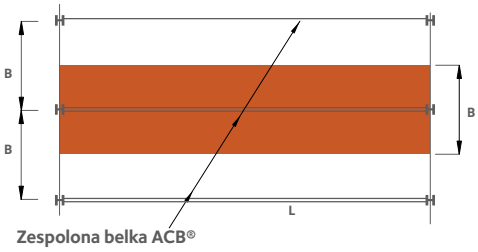


1. Wsparcie projektowe

1.1. Dobór wysokości zespolonej belki ACB®

Oprócz powyższych wymogów zdefiniowanych dla rozwiązań dachowych, należy wziąć pod uwagę pracę elementu w zespoleniu z betonem w celu ograniczenia wpływów skurczu i pełzania betonu w procesie wznoszenia i użytkowania obiektu

Rysunek 27: Zastosowanie belek ACB® w konstrukcji stopów zespolonych



Wysokość belki ACB® H zdefiniowana jako funkcja:

Rozpiętości L

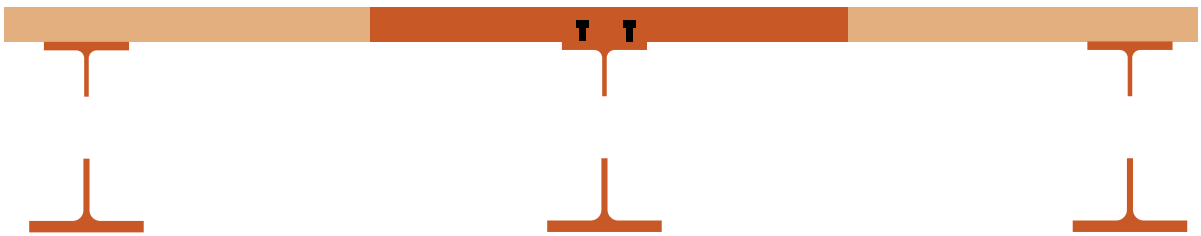
Rozpiętość L może wahać się w granicach od 8 do 30 metrów w zależności od rozwiązania. Zakładając układ pojedynczych przęseł wolnopodpartych beton jest ściskany na całej długości przęsła, natomiast w przypadku ustrojów ciągłych mamy do czynienia z rozciąganiem nad podporami pośrednimi.

Rozstaw poprzeczny, B

Rozstaw poprzeczny belek uzależniony jest od poniższych parametrów:

- zastosowania stalowego deskowania traconego
  B = 2.5 to 3 metrów bez podpór pośrednich
  B = 3 to 5 metrów z podporami pośrednimi
- zastosowanie sprężonych płyt prefabrykowanych B = 2.7 to 7 metrów z podporami pośrednimi
- dopuszczalna wysokość stropu H_T
  H_T zależna od wysokości podciągu stalowego (wysokość H belki ACB® plus grubość płyty stropowej).

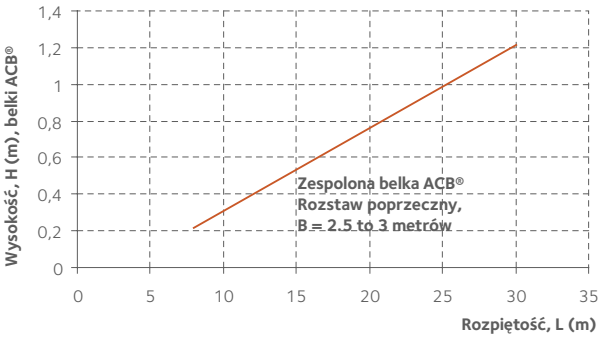
Rozstaw podciągów powinna być ustalana na podstawie poniższych warunków:
$L/H_T > 20$: B = 2.5 to 3 metrów
$L/H_T < 15$: B = 3 to 5 metrów



Komfort użytkowania

Wymagania komfortu użytkowania obiektów określają iż częstotliwość drgań własnych stopu powinna wynosić od 3 do 4 Hz. Im większa jest masa płyty żelbetowej oraz wartość obciążenia tym większa musi być bezwładność przekroju zespolonego z belką ACB®. Dla rozstawu poprzecznego belek ACB® na poziomie 2,5 do 3 metry, właściwy jest stosunek $L/H_T = 20$.

Rysunek 28: Wysokość, H, belki ACB® jako funkcja rozpiętości belki



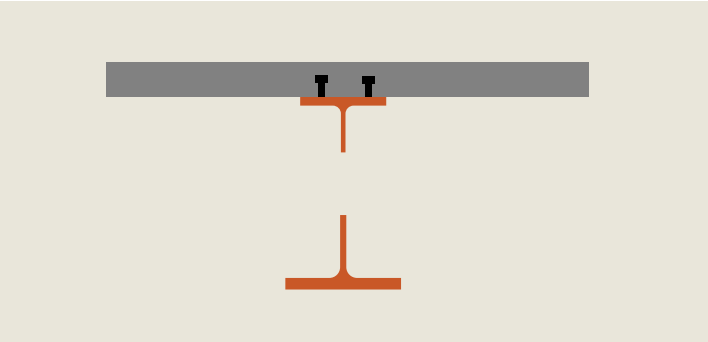
1.2. Wybór średnicy oraz rozstawu otworów.

Dobór średnicy oraz rozstawu otworów podyktowany jest najczęściej wymaganiami prowadzenia przewodów oraz ciągów instalacyjnych. W przypadku pomieszczeń biurowych średnica na poziomie 250 do 300 mm jest najczęściej stosowana. Rozstaw otworów S wynosi około 1,5 wielokrotności otworów belki.

W przypadku wartości minimalnych dla średnicy oraz rozstawu otworów belki jako funkcji zależnej od profilu bazowego, założenia podane dla belek ustrojów stalowych są identyczne dla belek ACB® ustrojów zespolonych. Możliwości zastosowania niesymetrycznych przekroi belek ACB® (Rysunek 29). Istotnym aspektem jest uwzględnienie rodzaju profilu górnego pasa w procesie dobierania rozmiaru otworów belki.

Dodatkowo, w celu zapewnienia optymalnej pracy ustroju, stosunek niesymetryczności przekrojów belki należy ograniczyć do wartości 4,5 (stosunek powierzchni profilu pasa dolnego do powierzchni passa górnego).

Rysunek 29: Niesymetryczna belka zespolona ACB®



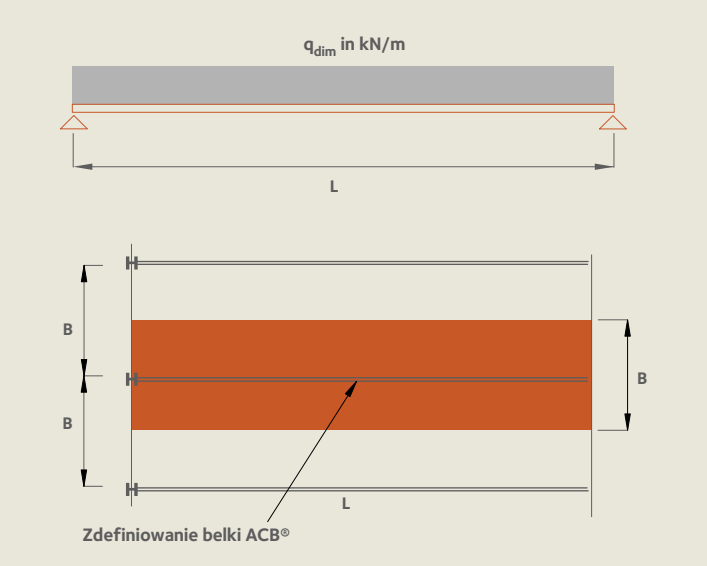
2. Projekt wstępny oraz tablice wydajności belek ACB®

Przekrój belki ACB® może być dobrany na podstawie krzywych wydajnościowych (patrz strona 35 do 36 zespolone belki stropowe), przy następujących założeniach:

Obciążenie

Obciążenie obliczeniowe, q_{dim}, porównywane z wartość obciążenia granicznego q_u.
$q_{dim} = (1.35G + 1.5Q)B$

Rysunek 30: Zmienne do ustalania wartości na podstawie tablic wydajności belek ACB®



gdzie:
B = rozstaw poprzeczny belek
G = obciążenie stałe na m^2
Q = obciążenie zmienne na m^2

Materiał

Krzywe obejmują wykorzystanie gatunków stali S355 oraz S460 oraz dwóch standardowych klas betonu, C25/30 oraz C30/37.

Płyta żelbetowa oraz zespolenie

Do opracowania omawianych tablic założono prefabrykowaną płytę żelbetową opartą na deskowaniu traconym z blachy trapezowej. Założone grubości (12 oraz 14cm) płyty dotyczą grubości całkowitej (płyta żelbetowa plus blacha trapezowa – wysokość fałdy 60mm). Dodatkowo założono pełne zespolenie prefabrykatu betonowego z belką stalową. Inny rodzaj połączenia musi być zdefiniowany przez użytkownika.

Rozmiar oraz rozstaw otworów

Krzywe obejmują typowe rozmiary otworów, a_o oraz wartości rozstawu S. ($a_o = 1.05$ h; $S = 1.25\ a_o$ or $S = 1.5\ a_o$)

Metody obliczeniowe:

Metody przytoczone w poprzednim punkcie mogą zostać wykorzystane w przypadku belek zespolonych. Należy mieć na uwadze iż: wartość obciążenia granicznego, q_u, została przyjęta dla:
B = 3 metry
$G = G_1 + G_2$

G_1 odpowiada ciężarowi własnemu belki ACB® oraz ciężarowi płyty żelbetowej o grubości 12 cm ($g_{slab} = 2$ kN/m^2) lub 14 cm ($g_{slab} = 2.5$ kN/m^2) (blacha trap. wysokość fałdy 6cm).
G_2 odpowiada wartości obciążenia stałego 0,75 kN/m^2.

Wartość obciążenia obliczeniowego $q_{dim} = (1.35G + 1.5Q)$ B, porównywana z wartością obciążenia granicznego q_u.
Warunek jest spełniony dla $q_{dim} \leq q_u$

Etap układania betonu

Projekt wstępny zakład usztywnienie belki za pomocą podpór tymczasowych oraz stężeń poprzecznych.

Dopuszczalne odkształcenia

Wykorzystanie krzywych zakłada dopuszczalne odkształcenia na poziomie L/350 dla obciążeń użytkowych Q.

7. Stateczność w sytuacji pożarowej oraz odporność ogniowa

Wymagana stateczność belek ażurowych w sytuacjach pożarowych, może być swobodnie oszacowania poprzez zastosowanie prostej ścieżki projektowej.

Na podstawie różnorodnych testów certyfikowanych laboratoria pożarowych do oszacowania wytrzymałości pożarowej belek ażurowych. Ścieżka ta została zaimplementowana do oprogramowania ACB+ dostępnego na stronie internetowej sections.arcelormittal.com.

Jeżeli przepisy krajowe wymagają biernego zabezpieczenia ogniowego, grubość tego zabezpieczenia może być określona na podstawie procedur obliczeniowych producentów zabezpieczeń jako funkcja współczynnika przekroju który ustalany jest na bazie ścieżki projektowej.

Grubość warstwy zabezpieczenia może być również określona w symulacji numerycznej. Oddział Doradztwa Technicznego ArcelorMittal korzysta z oprogramowania SAFIR, stworzony specjalnie do projektowania ogniowego belek ażurowych.

Ochrona bierna (powłoki natryskiwane, farby pęczniejące) może zostać zmniejszona lub w niektórych wypadkach całkowicie zredukowana jeżeli analiza oparta jest na założeniach pożaru naturalnego wg EN 1991-1-2.

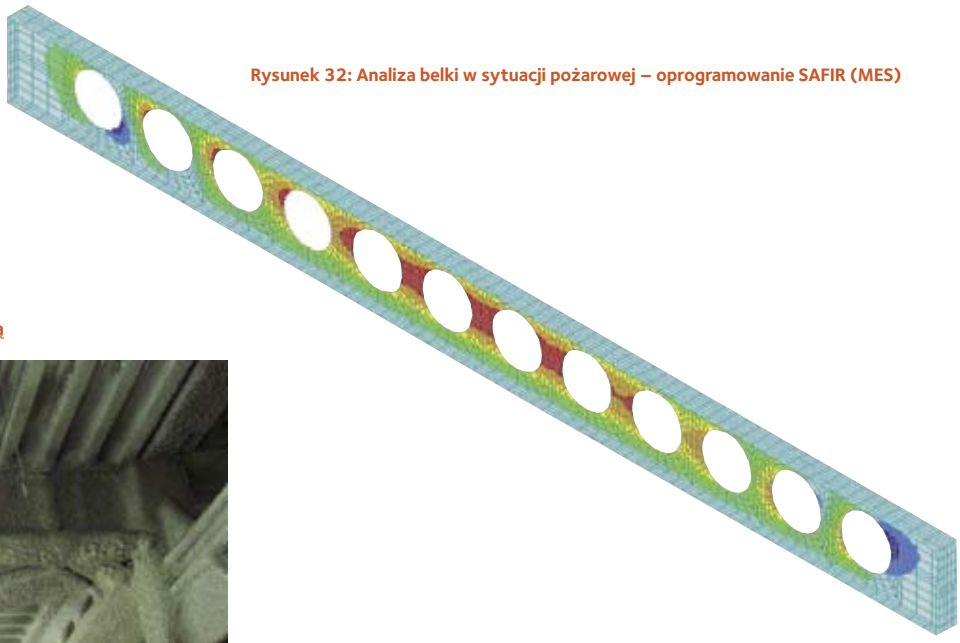
W budynkach biurowych, gdzie przepisy zazwyczaj wymagają godziną odporność ogniową, najodpowiedniejsze rozwiązanie to natrysk warstwy zabezpieczenia, jeżeli belki nie są widoczne (Rys. 31)

Różna pomiędzy średnicą otworu a średnicą przewodu, który przez otwór przebiega na poziomie 3 do 5cm wynika z konieczności ochrony warstwy p.poż. przed uszkodzeniem w trakcie montażu przewodów.
Szczególna ostrożność wymagana jest w trakcie instalowania ciągów, rur oraz sufitów podwieszanych.

W niektórych przypadkach, warstwa p.poż. może zostać ułożona na elementach stalowych bez uprzedniego zabezpieczenia antykoryzjnego.

Powierzchnia konieczna do zabezpieczenia p.poż. jest praktycznie identyczna do powierzchni profilu wyjściowego.

W przypadku gdy belki ażurowe są widoczne – np. fasadowe słupy zewnętrzne lub dźwigary dachowe – aplikacja pęczniejących farb pozwala na odpowiednie zabezpieczenie p.poż. bez uszczerbku na estetycznych walorach elementów. Elementy izolujące mogą zostać zamocowana w ten sam sposób w jaki instaluje się je na prostych elementach walcowanych. Wynika to z wykorzystania wpływu współczynnika profilu oraz temperatury krytycznej, które są wynikiem zastosowania prostej metody projektowej.



Rysunek 32: Analiza belki w sytuacji pożarowej – oprogramowanie SAFIR (MES)

Rysunek 31: Zbezpiecznie belki ACB® powłoką natryskową

City of Luxembourg administration building. Rocade de Bonnevoie © Paczowski et Fritsch architectes.

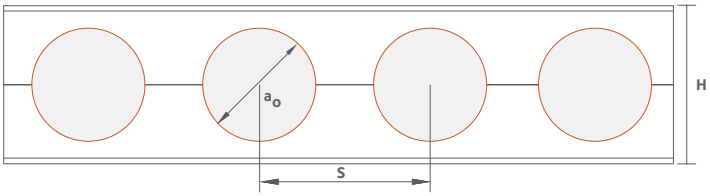
8. Tabele projektowe belek ACB®

Tabele zostały opracowane z uwzględnieniem wartości charakterystycznych zdefiniowanych w rozdziałach 5.2 oraz 6.2.

Pełna lista możliwych konfiguracji dostępna jest na witrynie internetowej:

sections.arcelormittal.com

Tabele wstępnego doboru belek ażurowych ACB dla aplikacji dachowych i przekryć stalowych zostały zatwierdzony przez niezależne biuro Landesstelle für Bautechnik (regionalne biuro ds. technologii budowlanych) działające przy Landesdirektion Leipzig (regionalny dyrektoriat Lipsk, Niemcy)
Tzw. homologacja rozwiązania belek ACB pozwala na bezpośrednie wykorzystanie metod obliczeniowych belek ACB zamiast metod klasycznych (Np. wykorzystanie oprogramowania ACB+).
Dokument homologacji jest dostępny do na naszej stronie: sections.arcelormittal.com



Trzy kategorie kart zostały zdefiniowane

Tabele konstrukcji dachowych

Gatunek stali S355.
Rozstaw otworów belki
S = 1.25 a_O jest optymalny
Sugerowane profile bazowe to IPE dla niskich wartości obciążeń, HEA dla średnich wartości oraz HEM dla największych obciążeń. Założenie wykorzystania całkowitej wysokości przekroju belki ACB® .

Tabele konstrukcji przekryć stalowych

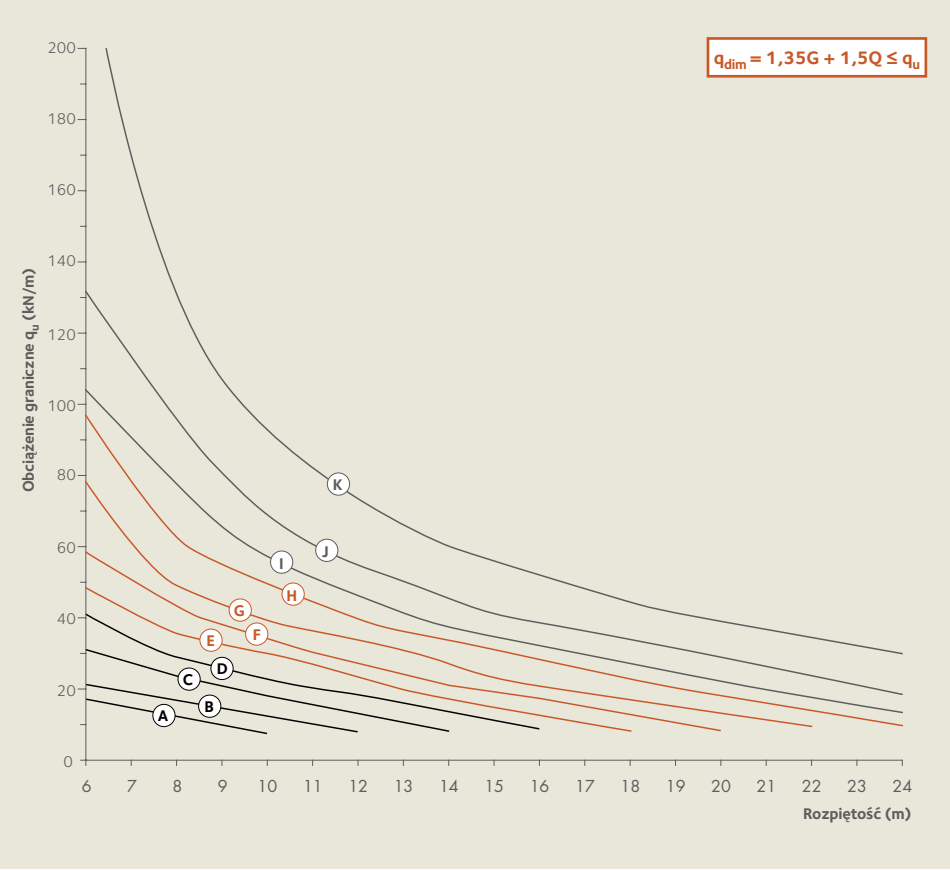
Gatunek stali S355 oraz S460.
Rozstaw otworów belki
S = 1.5 a_O jest optymalny
Sugerowane profile bazowe to IPE dla niskich wartości obciążeń, HEA dla średnich wartości oraz HEM dla największych bciążeń. Założenie wykorzystania całkowitej wysokości przekroju belki ACB®.

Tabele projektowe dla konstrukcji stropów zespolonych

Gatunek stali S355 oraz S460.
Rozstaw otworów belki
S = 1.5 a_O jest optymalny
Konfiguracja elementu wynika z zastosowanego obciążenia w przypadku niesymetrycznych belek ażurowych ACB®.
Sugerowane profile bazowe to IPE dla niskich wartości obciążeń, HEA dla średnich wartości oraz HEM dla największych obciążeń. Założenie wykorzystania całkowitej wysokości przekroju belki ACB®.

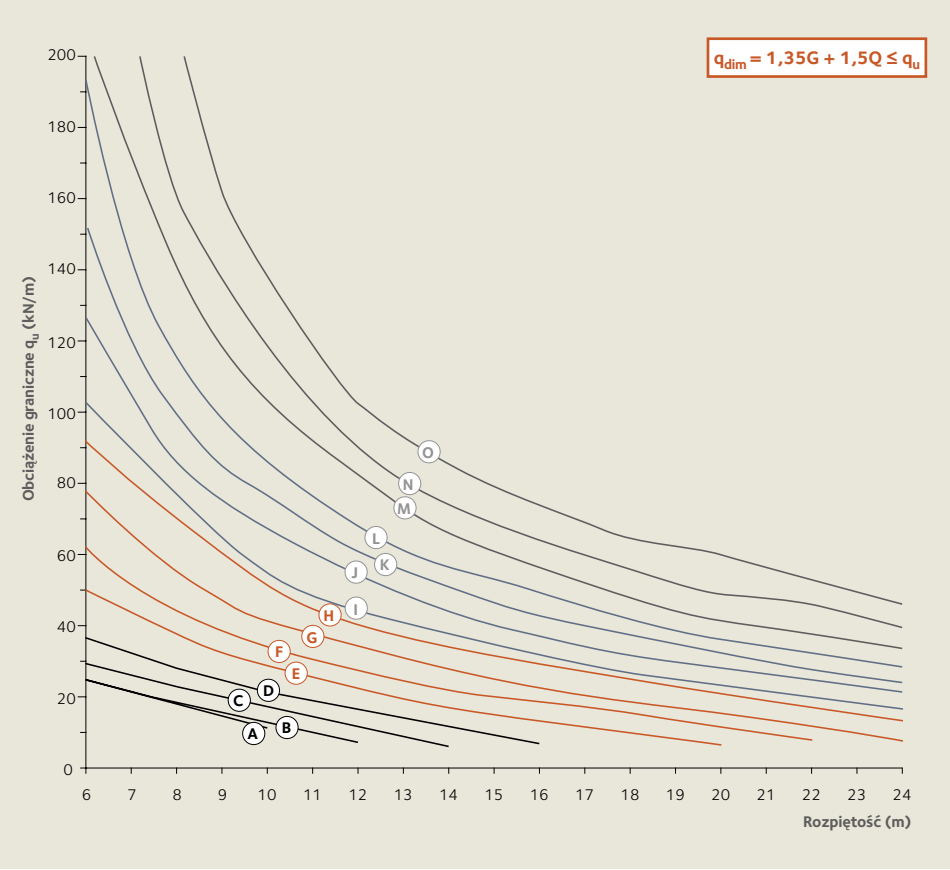
Tabele projektowe dla konstrukcji dachowych oraz przekryć stalowych

Tabela projektowa 1: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, IPE. S = 1.25 a_O - Gatunek S355



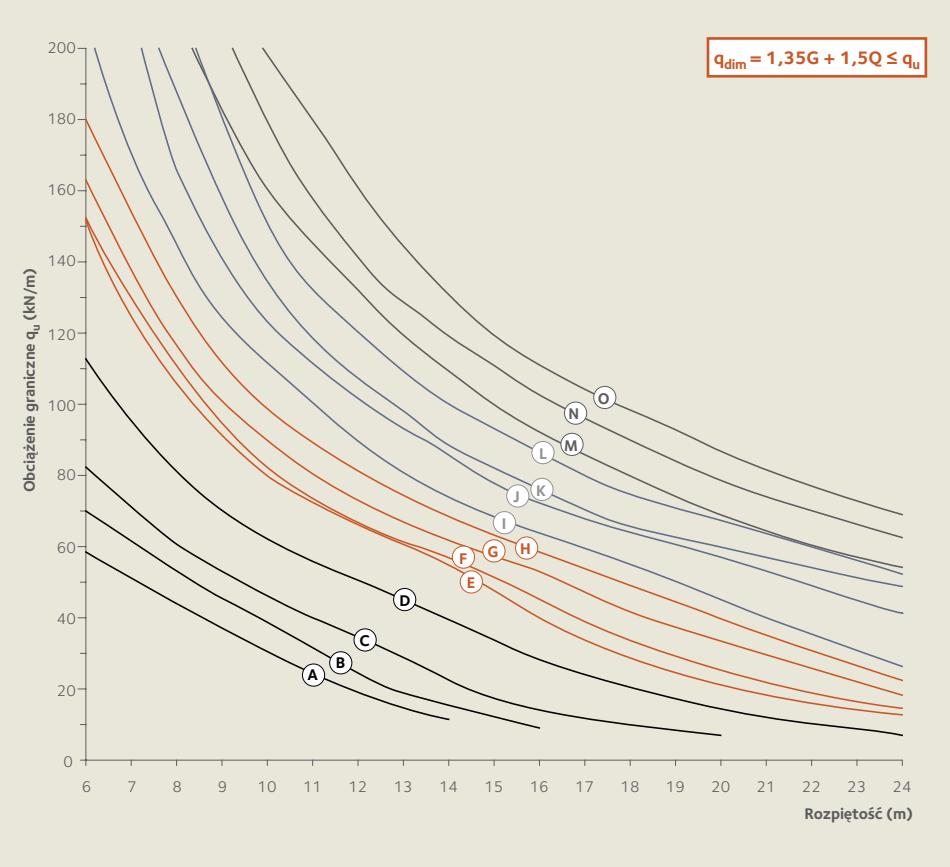
A = IPE 200 (a_0=210, S=260, H=294)
B = IPE 240 (a_0=250, S=310, H=353)
C = IPE 300 (a_0=315, S=390, H=445)
D = IPE 330 (a_0=345, S=430, H=489)
E = IPE 360 (a_0=380, S=480, H=535)
F = IPE 400 (a_0=420, S=530, H=594)
G = IPE 450 (a_0=475, S=590, H=672)
H = IPE 500 (a_0=525, S=660, H=745)
I = IPE 550 (a_0=580, S=730, H=822)
J = IPE 600 (a_0=630, S=790, H=896)
K = IPE 750X147 (a_0=790, S=990, H=1127)

Tabela projektowa 2: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEA. S = 1.25 aO - Gatunek S355



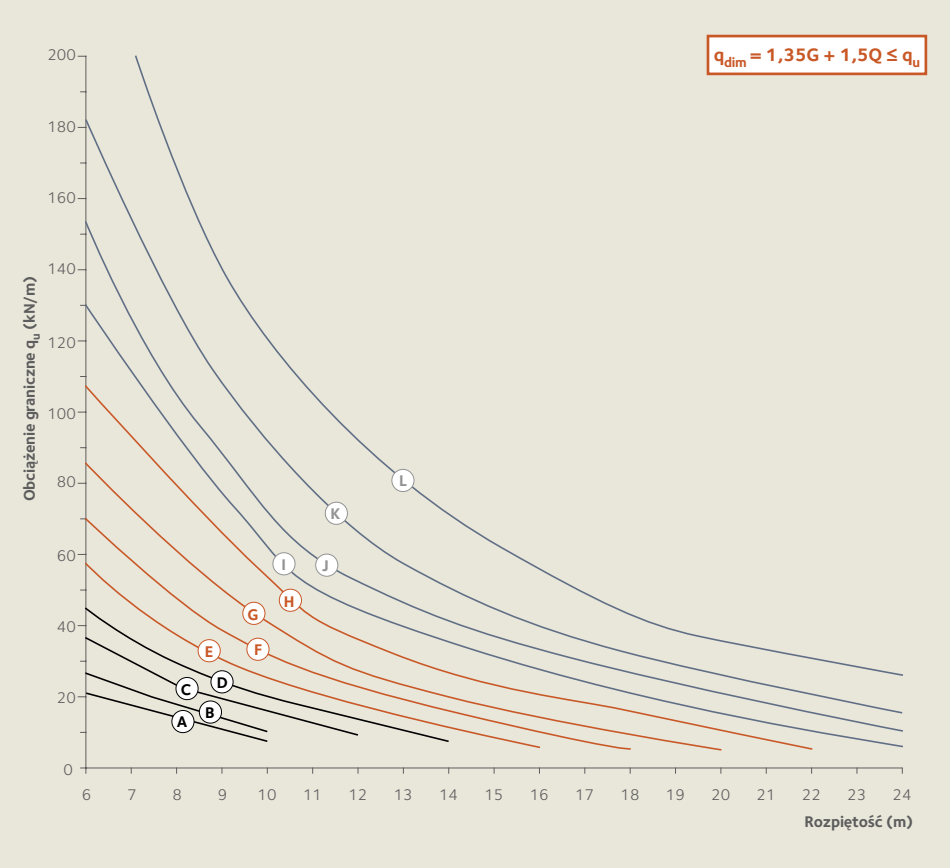
A = HEA 200 (a_0=180, S=230, H=268)
B = HEA 220 (a_0=220, S=280, H=307)
C = HEA 240 (a_0=240, S=300, H=338)
D = HEA 280 (a_0=285, S=360, H=399)
E = HEA 320 (a_0=325, S=410, H=459)
F = HEA 360 (a_0=370, S=460, H=521)
G = HEA 400 (a_0=410, S=510, H=581)
H = HEA 450 (a_0=460, S=580, H=654)
I = HEA 500 (a_0=515, S=640, H=732)
J = HEA 550 (a_0=565, S=710, H=805)
K = HEA 600 (a_0=620, S=780, H=881)
L = HEA 650 (a_0=670, S=840, H=956)
M = HEA 700 (a_0=725, S=910, H=1032)
N = HEA 800 (a_0=830, S=1040, H=1183)
O = HEA900 (a_0=935, S=1170, H=1334)

Tabela projektowa 3: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEM. S = 1.25 a_O - Gatunek S355



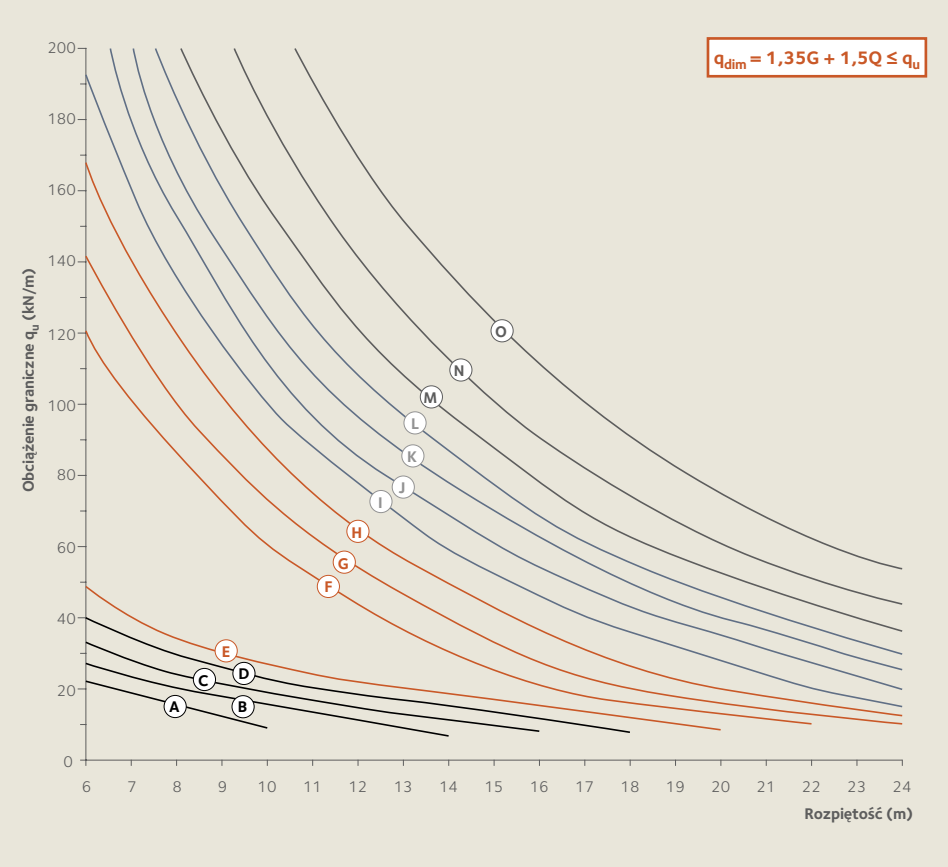
A = HEM 200 (a_0=190, S=240, H=303)
B = HEM 220 (a_0=220, S=280, H=337)
C = HEM 240 (a_0=250, S=310, H=383)
D = HEM 280 (a_0=320, S=400, H=457)
E = HEM 300 (a_0=340, S=430, H=496)
F = HEM 320 (a_0=375, S=470, H=532)
G = HEM 360 (a_0=415, S=520, H=587)
H = HEM 400 (a_0=455, S=570, H=644)
I = HEM 450 (a_0=500, S=630, H=711)
J = HEM 550 (a_0=600, S=750, H=854)
K = HEM 600 (a_0=650, S=810, H=927)
L = HEM 650 (a_0=700, S=880, H=998)
M = HEA 700 (a_0=750, S=940, H=1070)
N = HEA 800 (a_0=855, S=1070, H=1219)
O = HEA 900 (a_0=955, S=1190, H=1365)

Tabela projektowa 4: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, IPE. S = 1.5 a_O - Gatunek S355



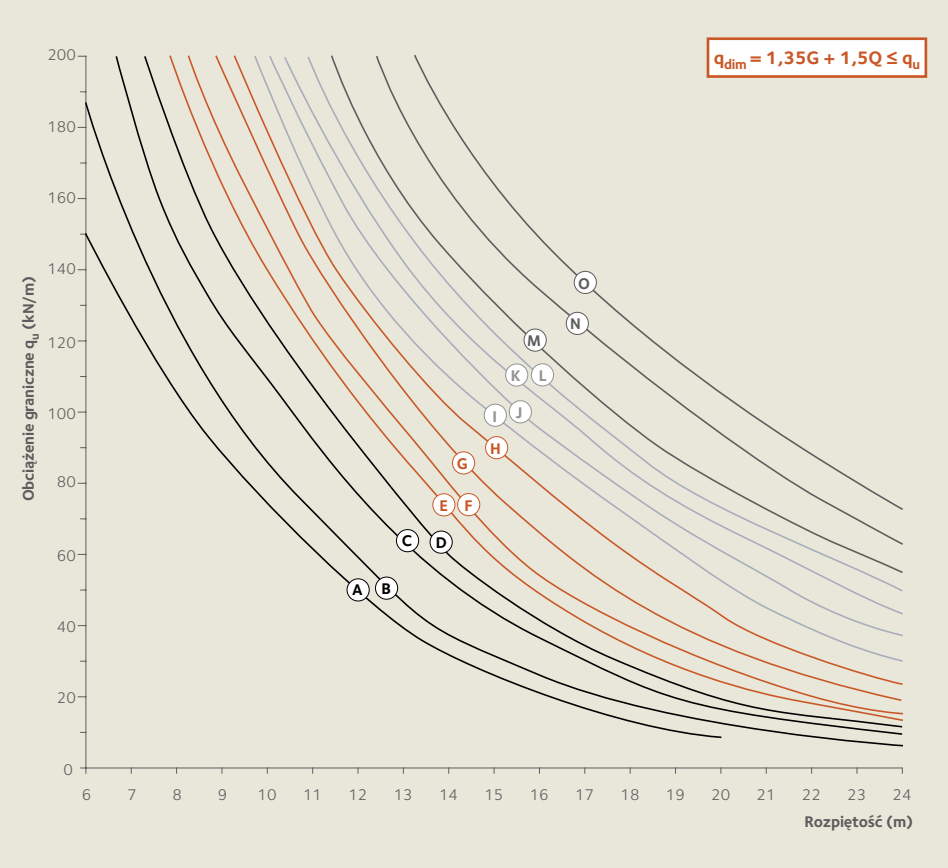
A = IPE 220 (a_0=225, S=335, H=309)
B = IPE 240 (a_0=250, S=370, H=340)
C = IPE 270 (a_0=285, S=425, H=385)
D = IPE 300 (a_0=315, S=470, H=428)
E = IPE 330 (a_0=345, S=515, H=469)
F = IPE 360 (a_0=380, S=570, H=515)
G = IPE 400 (a_0=420, S=630, H=573)
H = IPE 450 (a_0=475, S=710, H=647)
I = IPE 500 (a_0=525, S=785, H=719)
J = IPE 550 (a_0=580, S=865, H=793)
K = IPE 600 (a_0=630, S=940, H=865)
L = IPE 750X147 (a_0=790, S=1170, H=1090)

Tabela projektowa 5: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEA. S = 1.5 a_O - Gatunek S355



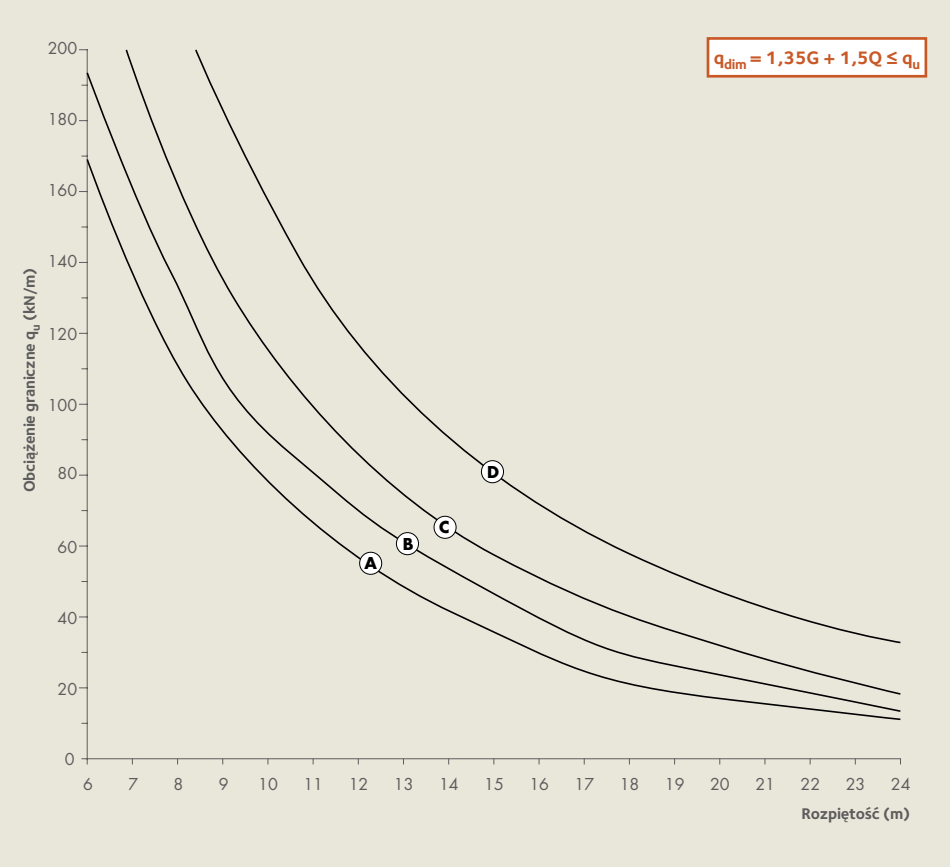
A = HEA 200 (a_0=170, S=250, H=256)
B = HEA 240 (a_0=230, S=340, H=322)
C = HEA 280 (a_0=285, S=425, H=385)
D = HEA 300 (a_0=305, S=455, H=414)
E = HEA 340 (a_0=345, S=515, H=471)
F = HEA 360 (a_0=370, S=550, H=502)
G = HEA 400 (a_0=410, S=610, H=560)
H = HEA 450 (a_0=460, S=680, H=633)
I = HEA 500 (a_0=515, S=765, H=706)
J = HEA 550 (a_0=565, S=845, H=776)
K = HEA 600 (a_0=620, S=925, H=851)
L = HEA 650 (a_0=670, S=1000, H=922)
M = HEA 700 (a_0=725, S=1085, H=995)
N = HEA 800 (a_0=830, S=1240, H=1142)
O = HEA 900 (a_0=935, S=1395, H=1288)

Tabela projektowa 6: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEM. S = 1.5 a_O - Gatunek S355



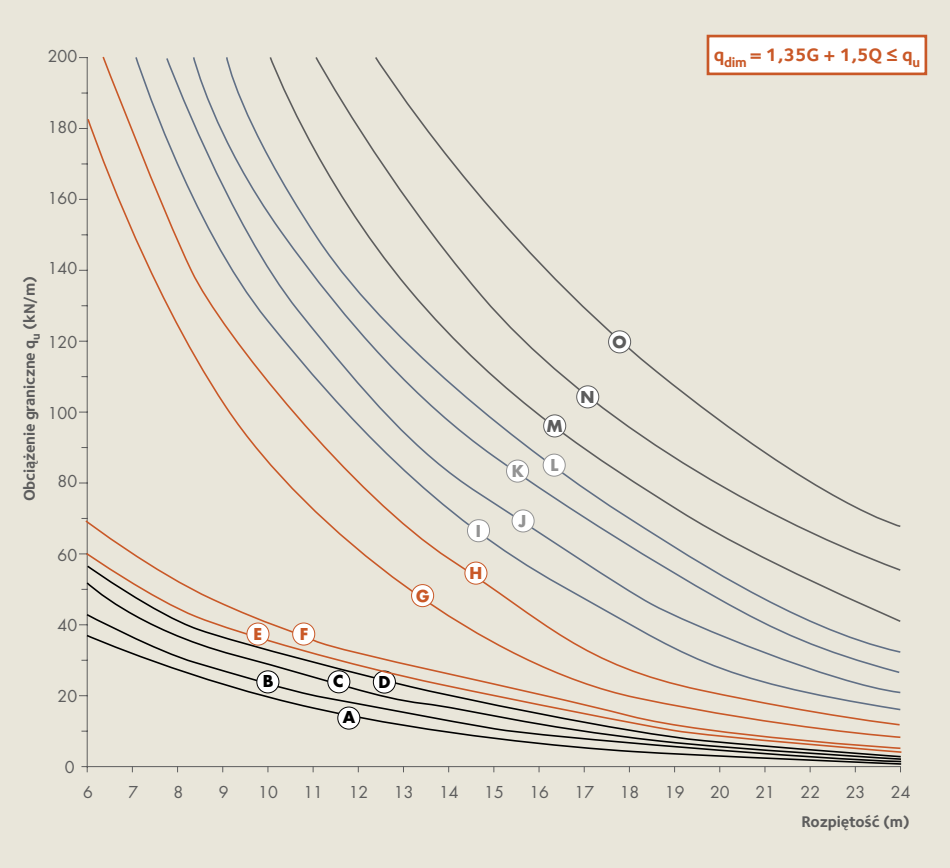
A = HEM 260 (a_0=260, S=385, H=395)
B = HEM 280 (a_0=280, S=420, H=422)
C = HEM 300 (a_0=310, S=460, H=466)
D = HEM 320 (a_0=340, S=505, H=498)
E = HEM 340 (a_0=380, S=560, H=535)
F = HEM 360 (a_0=410, S=605, H=566)
G = HEM 400 (a_0=450, S=670, H=619)
H = HEM 450 (a_0=500, S=745, H=687)
I = HEM 500 (a_0=540, S=810, H=749)
J = HEM 550 (a_0=600, S=900, H=823)
K = HEM 600 (a_0=650, S=970, H=894)
L = HEM 650 (a_0=700, S=1050, H=962)
M = HEM 700 (a_0=750, S=1125, H=1031)
N = HEM 800 (a_0=855, S=1280, H=1176)
O = HEM 900 (a_0=955, S=1430, H=1315

Tabela projektowa 7: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, IPE. S = 1.5 a_O - Gatunek S460



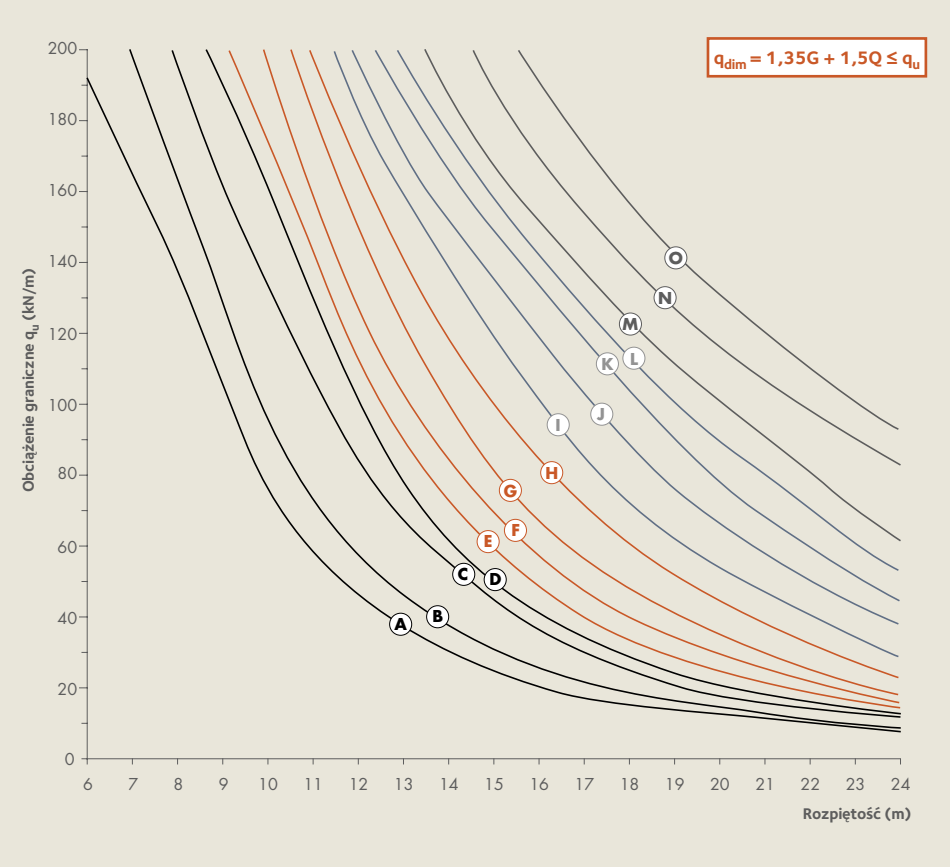
A = IPE 500 (a_0=525, S=785, H=719)
B = IPE 550 (a_0=580, S=865, H=793)
C = IPE 600 (a_0=630, S=940, H=865)
D = IPE 750X147(a_0=790, S=1170, H=1090)

Tabela projektowa 8: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEA. S = 1.5 a_O - Gatunek S460



A = HEA 260 (a_0=265, S=385, H=359)
B = HEA 280 (a_0=285, S=425, H=385)
C = HEA 300 (a_0=305, S=455, H=414)
D = HEA 320 (a_0=325, S=485, H=442)
E = HEA 340 (a_0=345, S=515, H=471)
F = HEA 360 (a_0=370, S=550,H=502)
G = HEA 400 (a_0=410, S=610, H=560)
H = HEA 450 (a_0=460, S=680, H=633)
I = HEA 500 (a_0=515, S=765, H=706)
J = HEA 550 (a_0=565, S=845, H=776)
K = HEA 600 (a_0=620, S=925, H=851)
L = HEA 650 (a_0=670, S=1000, H=922)
M = HEA 700 (a_0=725, S=1085 H=995)
N = HEA 800 (a_0=830, S= 1240, H=1142)
O = HEA 900 (a_0=935, S= 1395, H=1288

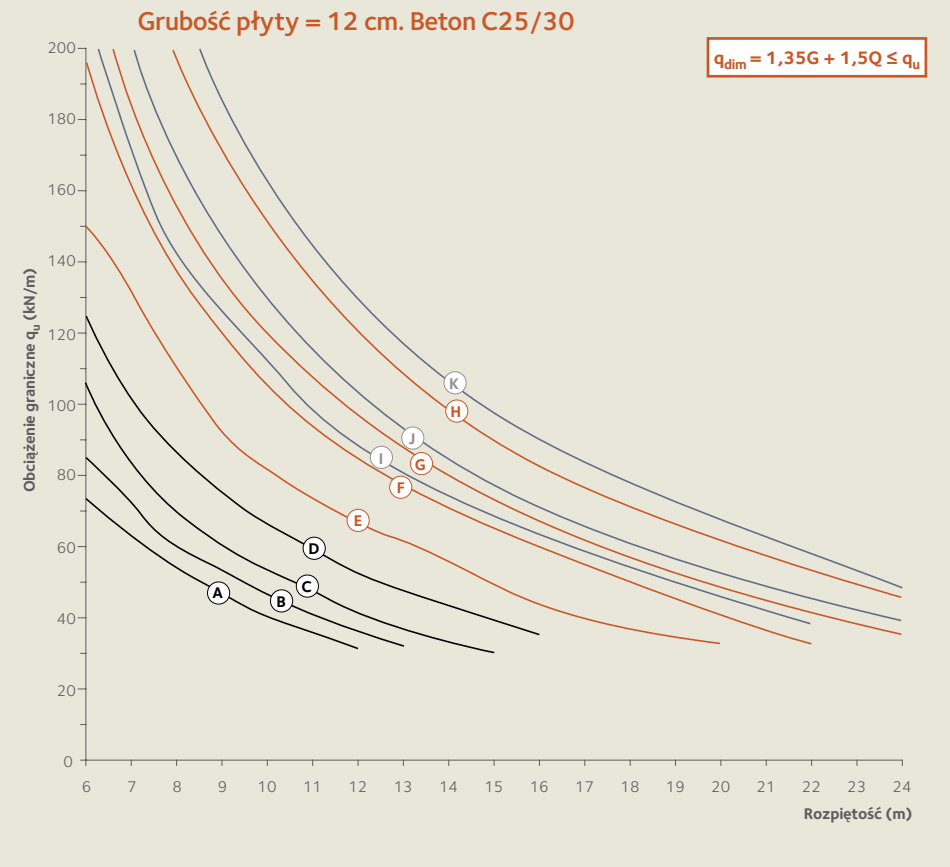
Tabela projektowa 9: Przekrój stalowy – przekrój bazowy, HEM. S = 1.5 a_O - Gatunek S460



A = HEM 260 (a_0=260, S=385, H=395)
B = HEM 280 (a_0=280, S=420, H=422)
C = HEM 300 (a_0=310, S = 460, H=466)
D = HEM 320 (a_0=340, S=505, H=498)
E = HEM 340 (a_0=380, S=560, H=535)
F = HEM 360 (a_0=410, S=605, H=566)
G = HEM 400 (a_0=450, S=670, H=619)
H = HEM 450 (a_0=500, S=745, H=687)
I = HEM 500 (a_0=540, S=810, H=749)
J = HEM 550 (a_0=600, S=900, H=823)
K = HEM 600 (a_0=650, S=970, H=894)
L = HEM 650 (a_0=700, S=1050, H=962)
M = HEM 700 (a_0=750, S=1125, H=1031)
N = HEM 800 (a_0=855, S=1280, H=1176)
O = HEM 900 (a_0=955, S=1430, H=1315)

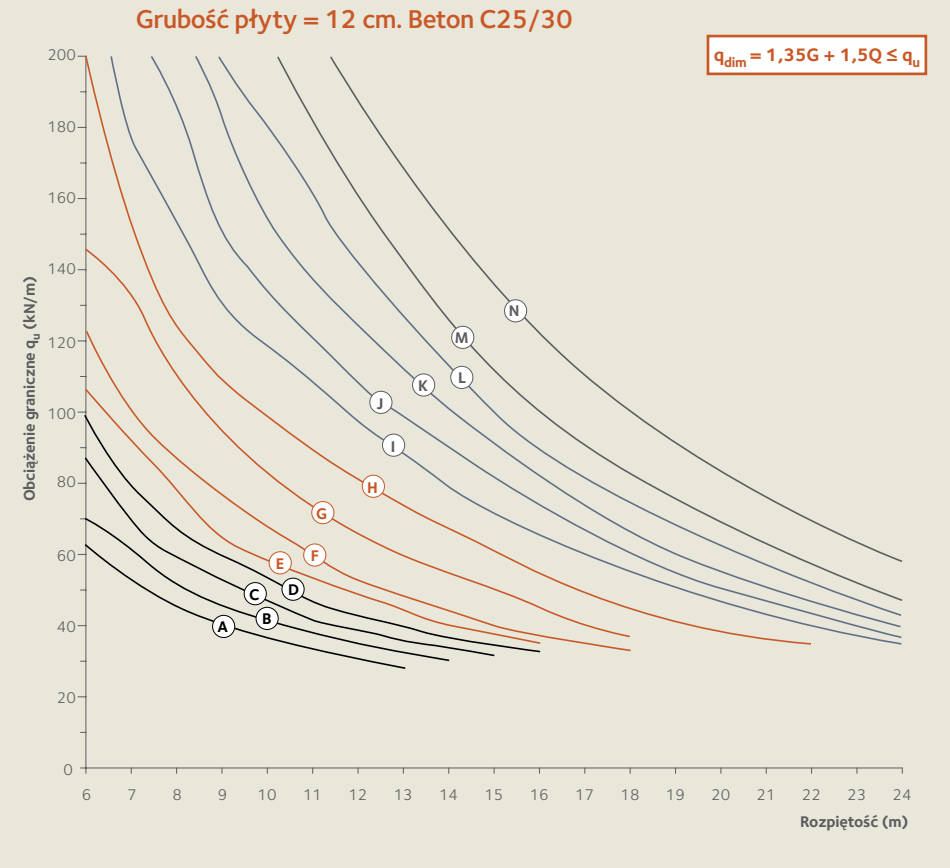
Tabele projektowe dla belek stropów zespolonych

Tabela projektowa 10: Przekrój zespolony – przekrój bazowy IPE & HEA-B. S = 1.5 a_O - Gatunek S355



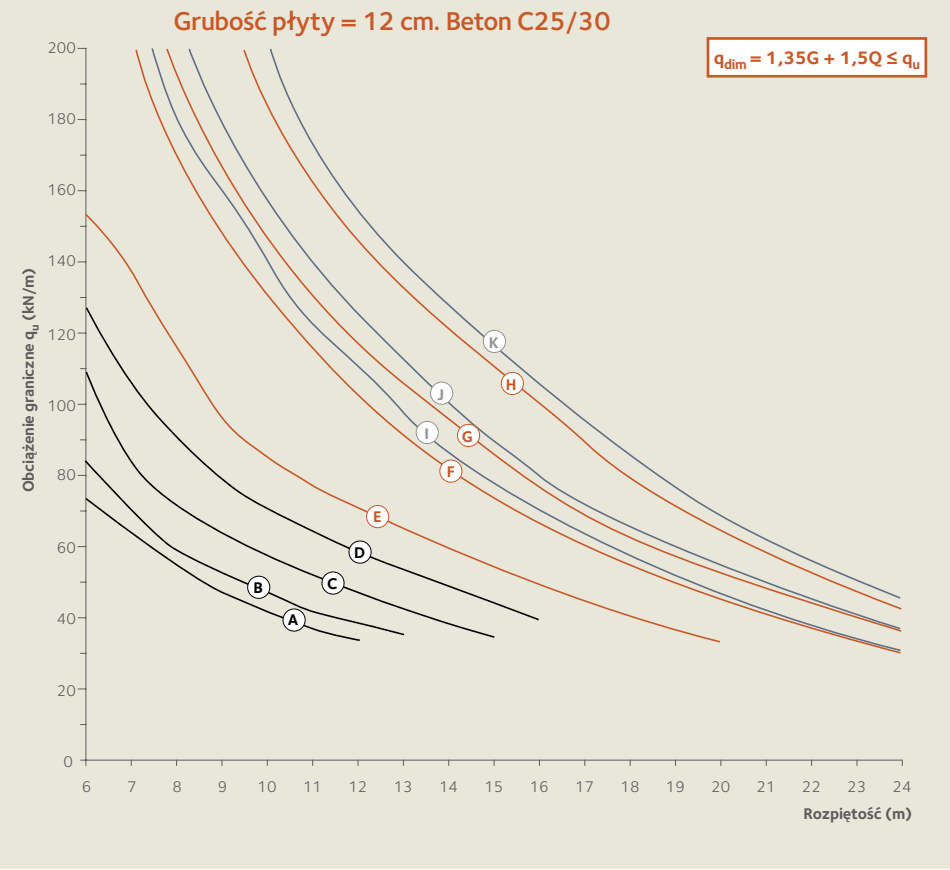
A = IPE 300-HEA 280 (a_0=260, S=390, H=388)
B = IPE 330-HEA 300 (a_0=280, S=420, H=422)
C = IPE 360-HEA 340 (a_0=310, S=465, H=470)
D = IPE 400-HEA 400 (a_0=350, S=525, H=537)
E = IPE 450-HEA 450 (a_0=400, S=600, H=609)
F = IPE 500-HEA 550 (a_0=480, S=720, H=719)
G = IPE 550-HEA 650 (a_0=560, S=840, H=828)
H = IPE 600-HEA 800 (a_0=640, S=960, H=963)
I = IPE 500-HEB 550 (a_0=480, S=720, H=724)
J = IPE 550-HEB 650 (a_0=560, S=840, H=833)
K = IPE 600-HEB 800 (a_0=640, S=960, H=968)

Tabela projektowa 11: Przekrój zespolony – przekrój bazowy HEA & HEB. S = 1.5 aO – Gatunek S355



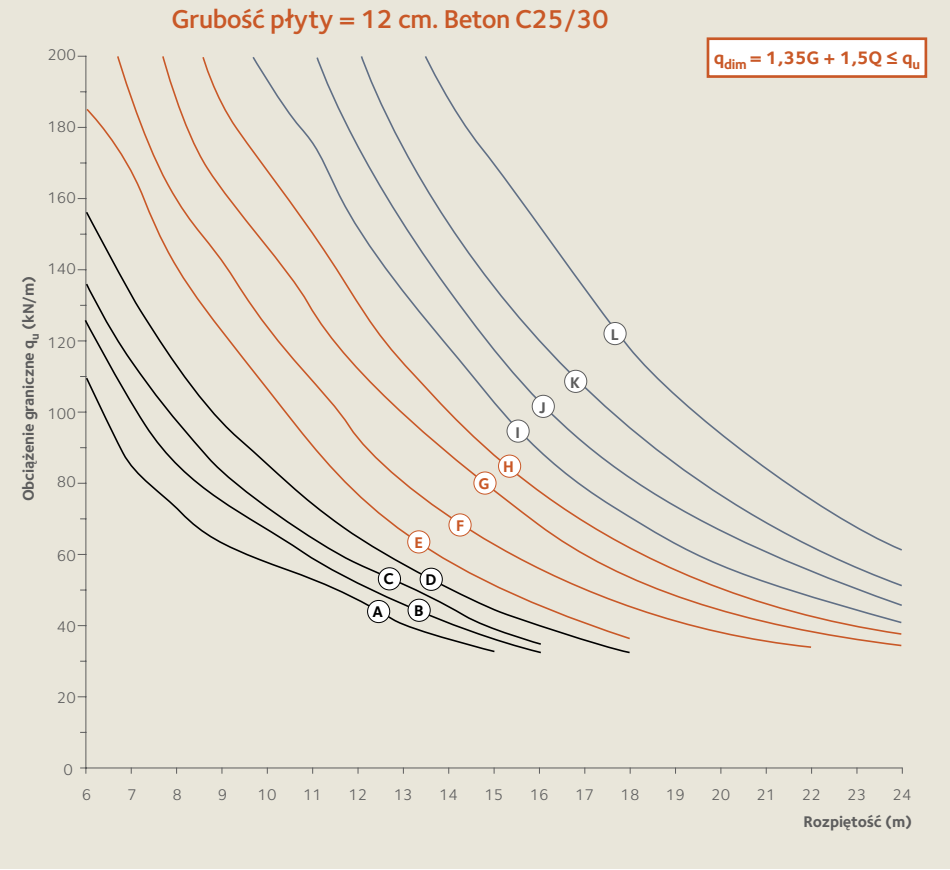
A = HEA 260-HEB 260 (a_0=230, S=345, H=345)
B = HEA 280-HEB 280 (a_0=250, S=375, H=374)
C = HEA 300-HEB 300 (a_0=270, S=405, H=403)
D = HEA 320-HEB 320 (a_0=290, S=435, H=431)
E = HEA 340-HEB 340 (a_0=300, S=450, H=456)
F = HEA 360-HEB 360 (a_0=320, S= 480, H=484)
G = HEA 400-HEB 400 (a_0=360, S=540, H=542)
H =HEA 450-HEB 450 (a_0=410, S=615, H=613)
I = HEA 500-HEB 500 (a_0=460, S=690, H=685)
J = HEA 550-HEB 550 (a_0=500, S=750, H=752)
K = HEA 600-HEB 600 (a_0=550, S=825, H=824)
L = HEA 650-HEB 650 (a_0=600, S=900, H=896)
M=HEA 700-HEB 700 (a_0=650, S=975, H=967)
N=HEA 800-HEB 800 (a_0=740, S=1110, H=1106)

Tabela projektowa 12: Przekrój zespolony – przekrój bazowy IPE & HEA-B. S = 1.5 aO - Gatunek S460



A = IPE 300-HEA 280 (a_0=260, S=390, H=388)
B = IPE 330-HEA 300 (a_0=280, S=420, H=422)
C = IPE 360-HEA 340 (a_0=310, S=465, H=470)
D = IPE 400-HEA 400 (a_0=350, S=525, H=537)
E = IPE 450-HEA 450 (a_0=400, S=600, H=609)
F = IPE 500-HEA 550 (a_0=480, S=720, H=719)
G = IPE 550-HEA 650 (a_0=560, S=840, H=828)
H =IPE 600-HEA 800 (a_0=640, S=960, H=963)
I = IPE 500-HEB 550 (a_0=480, S=720, H=724)
J = IPE 550-HEB 650 (a_0=560, S=840, H=833)
K = IPE 600-HEB 800 (a_0=640, S=960, H=968)

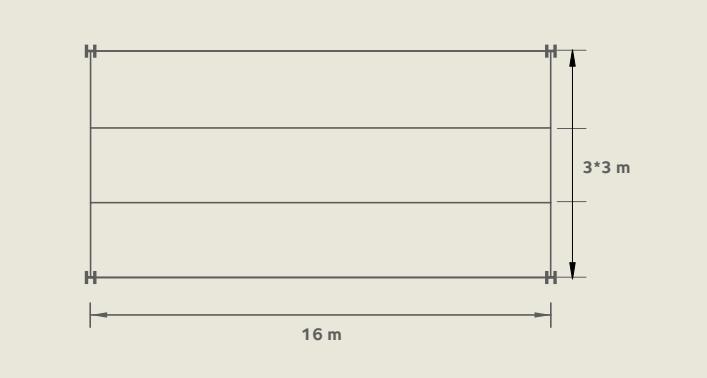
Tabela projektowa 13: Przekrój zespolony – przekrój bazowy HEA & HEB. S = 1.5 aO - Gatunek S460



A = HEA 300-HEB 300 (a_0=270, S=405, H=403)
B = HEA 320-HEB 320 (a_0=290, S=435, H=431)
C = HEA 340-HEB 340 (a_0=300, S=450, H=456)
D = HEA 360-HEB 360 (a_0=320, S=480, H=484)
E = HEA 400-HEB 400 (a_0=360, S=540, H=542)
F = HEA 450-HEB 450 (a_0=410, S=615, H=613)
G = HEA 500-HEB 500 (a_0=460, S=690, H=685)
H = HEA 550-HEB 550 (a_0=500, S=750, H=752)
I = HEA 600-HEB 600 (a_0=550, S=825, H=824)
J = HEA 650-HEB 650 (a_0=600, S=900, H=896)
K = HEA 700-HEB 700 (a_0=650, S=975, H=967)
L = HEA 800-HEB 800 (a_0=740, S=1110, H=1106)

9. Tabele projektowe: przykład projektowy

Belki drugorzędne wykonane z profile ażurowych ACB® zostały zwymiarowane dla rozpiętości L=16m oraz rozstawu poprzecznego B=3m. Ze względów architektonicznych, ostateczna wysokość stropu ograniczona jest do Ht=700mm. Pozwala to na zastosowanie belki ACB® o maksymalnej wysokości H=580mm oraz płyty o grubości 120mm.



Dane obliczeniowe:

L = 16 m
B = 3 m
Grubość płyty = 12 cm
Klasa betonu, C25/30
Deskowanie tracone z blachy o fałdzie 60-mm.

Obciążenia:

q_{dim} = (1.35G + 1.5Q)B gdzie
$G = G_1 + G_2$
G_1 = ciężar własny dźwigara ACB® oraz płyty żelbetowej.
Dla płyty o grubości 12 cm z blachą trapezową ciężar wynosi,
$g_{slab} \approx 2$ kN/m^2
Ciężar belki ACB® jest początkowo założony na 1kN/m, równoważny do:
g_{ACB} = 0.33 kN/m^2.

G_2= dodatkowe obciążenie zmienne = 0.75 kN/m^2
Q = obciążenie zmienne,
wartość założona dla przykładu: 6 kN/m^2

$G_1 = g_{slab} + g_{ACB}$ = 2.33 kN/m^2
G_2 = 0.75 kN/m^2
Q = 6 kN/m^2

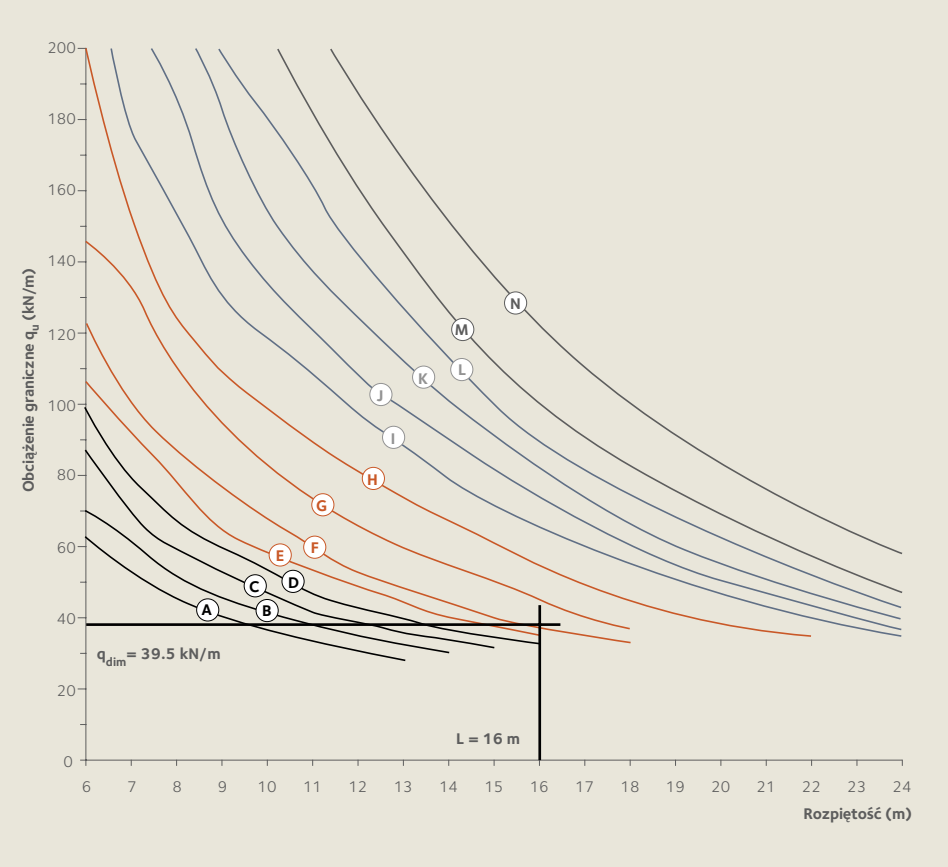
q_{dim} = 39.5 kN/m

Używając tabeli projektowych jako funkcji obciążenia oraz rozpiętości, można w prosty sposób zwymiarować przekrój belki ACB®. Znając całkowitą wysokość belki należy dobrać profil bazowy belki – początkowo spośród profili HEA i HEB dla gatunku stali S355 oraz S460.

Przykład obliczeniowy 1 (następna strona)
Wybór krzywej G, dla profile HEA400/HEB 400 przy a_O = 360mm oraz H = 542 mm w gatunku S355. Wykonując te samą operacją dla gatunku S460 wynik jest identyczny. Wynika to faktu że kryterium wyboru w tym przypadku jest odkształcenie elementu a moment bezwładności się nie zmienia dla wyższego gatunku stali. Jeśli ograniczenie wysokości profilu nie jest rygorystyczne, możliwie jest zastosowanie profili z zakresu IPE lub HEA/B.

Przykład obliczeniowy 2 (następna strona)
W tym wypadku wymagany profil bazowy to IPE450/HEA450 (krzywa E) przy a_O =400 mm oraz H = 609 mm. Rozwiązanie to jest lżejsze od poprzedniego. Zalecane jest aby po określeniu rozmiaru profilu dokonać sprawdzenia wartości dla SGN oraz SGU w programie obliczeniowym ACB+.

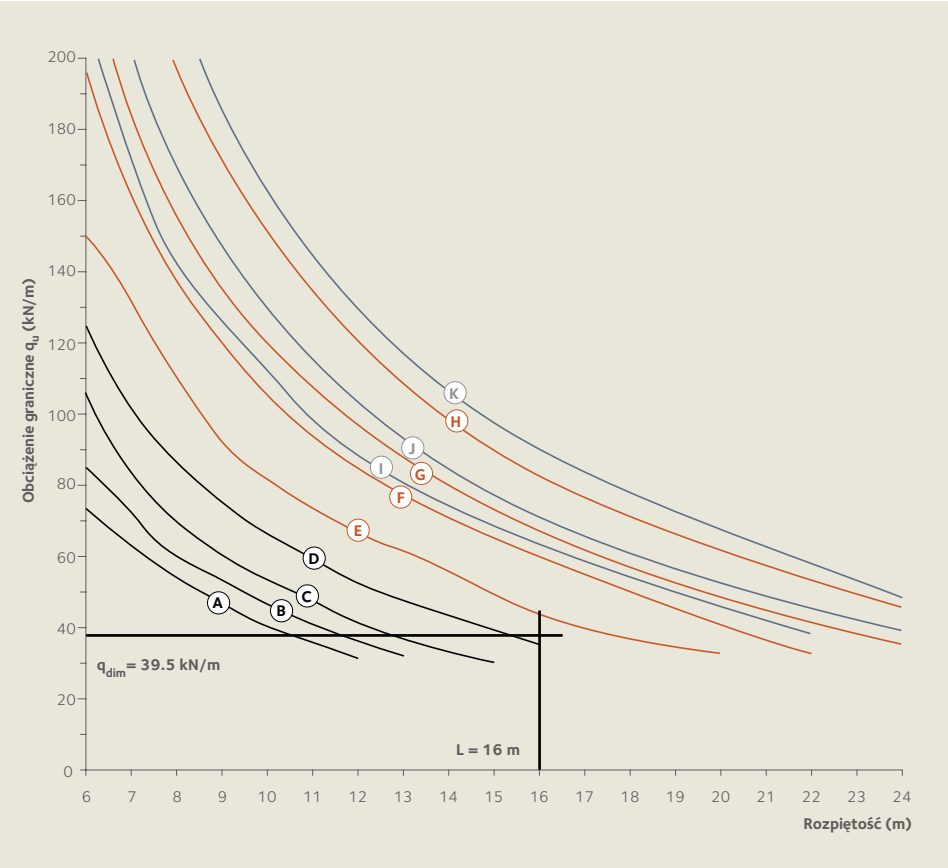
Przykład 1.



Przekrój zespolony
Przekrój bazowy:
HEA & HEA-B
S = 1.5 a_0 - Gatunek S355
Grubość płyty = 12 cm
Beton C25/30

A = HEA 260-HEB 260 (a_0=230, S=345, H=345)
B = HEA 280-HEB 280 (a_0=250, S=375, H=374)
C = HEA 300-HEB 300 (a_0=270, S=405, H=403)
D = HEA 320-HEB 320 (a_0=290, S=435, H=431)
E = HEA 340-HEB 340 (a_0=300, S=450, H=456)
F = HEA 360-HEB 360 (a_0=320, S= 480, H=484)
G = HEA 400-HEB 400 (a_0=360, S=540, H=542)
H =HEA 450-HEB 450 (a_0=410, S=615, H=613)
I = HEA 500-HEB 500 (a_0=460, S=690, H=685)
J = HEA 550-HEB 550 (a_0=500, S=750, H=752)
K = HEA 600-HEB 600 (a_0=550, S=825, H=824)
L = HEA 650-HEB 650 (a_0=600, S=900, H=896)
M =HEA 700-HEB 700 (a_0=650, S=975, H=967)
N =HEA 800-HEB 800 (a_0=740, S=1110, H=1106)

Przykład 2



Przekrój zespolony
Przekrój bazowy:
HEA & HEA-B
S = 1.5 a_0 - Gatunek S355
Grubość płyty = 12 cm
Beton C25/30

A = IPE 300-HEA 280 (a_0=260, S=390, H=388)
B = IPE 330-HEA 300 (a_0=280, S=420, H=422)
C = IPE 360-HEA 340 (a_0=310, S=465, H=470)
D = IPE 400-HEA 400 (a_0=350, S=525, H=537)
E = IPE 450-HEA 450 (a_0=400, S=600, H=609)
F = IPE 500-HEA 550 (a_0=480, S=720, H=719)
G = IPE 550-HEA 650 (a_0=560, S=840, H=828)
H = IPE 600-HEA 800 (a_0=640, S=960, H=963)
I = IPE 500-HEB 550 (a_0=480, S=720, H=724)
J = IPE 550-HEB 650 (a_0=560, S=840, H=833)
K = IPE 600-HEB 800 (a_0=640, S=960, H=968)

4
5
Traiteur

10. Oprogramowanie projektowe ACB+

ACB+ (Belki Ażurowe ArcelorMittal) to oprogramowanie projektowe, służące do wstępnego wymiarowania belek ażurowych o otworach kołowych.

Program pozwala na zaprojektowanie belki o dowolnej konfiguracji w tym prostej belki zespolonej, prostej belki stalowej, stalowej belki o zmiennej wysokości (skos jedno lub dwustronny), belki zakrzywionej w schemacie belki wolnopodpartej lub wspornikowej belki o stałej lub jednostronnie zmiennej wysokości. Oprogramowanie ACB+ wymiaruje belki na Stan Graniczny Nośności (wytrzymałość przekroju poprzecznego, wyboczenie lokalne, wyboczenie giętno – skrętne) w oparciu o wytyczne Eurokodu 3 oraz 4 (EN 1993 oraz EN 1994), oraz na Stan Graniczny Użytkowalności gdzie weryfikowane są wartości ugięć oraz amplituda drgań własnych.

Oprogramowanie ACB+ wyposażone jest w pełny katalog profili walcowanych na gorąco ArcelorMittal. Oprogramowanie dostępne jest w kilku wersjach językowych w tym Angielskiej, Francuskiej, Niemieckiej oraz Włoskiej. Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony www oraz do darmowego pobrania najnowszej wersji oprogramowania:
sections.arcelormittal.com

11. Belki ACB®: rozwiązanie dla zrównoważonego rozwoju

- **Konstrukcje zrównoważone przy zastosowaniu belek ACB®**

Ochrona zasobów naturalnych we współczesnym zindustrializowanym społeczeństwie stała się punktem priorytetowym na drodze do stworzenia nowego rozbudowanego środowiska.
W rezultacie, projekty konstrukcji muszą nadążać nad zmiennymi warunkami ekonomicznymi jak np. uwzględnienie analizy cyklu życiowego obiektu w projekcie konstrukcji, czy też rozwój technologii, które wpływają na konieczność uwzględnienia wpływu zrównoważonego rozwoju na środowisko oraz społeczeństwo.
Kierunki zrównoważonego rozwoju to:

- ekologiczny
- ekonomiczny
- socjalno – kulturowy
- techniczny
- produkcyjny

Są one niezależne oraz ambiwalentne, zapewniając jednocześnie jednoznaczną odpowiedź na wspólne problemy oraz zapewniają przyszłym pokoleniom przyjazne środowisko. Zrównoważona konstrukcja z wykorzystaniem belek ACB spełnia co najmniej 3 z w/w kryteriów zrównoważonego rozwoju.

- **Aspekt ekologiczny zrównoważonego rozwoju**

Głównym celem ekologicznym jest zastosowanie materiałów budowlanych, które są bezpiecznie z punktu widzenia ochrony zdrowia i środowiska, zredukowanie odpadów w procesie rozbiórki budynków na końcu ich cyklu życia , jak również poprzez zredukowanie zużycia energii materiałów budowlanych przez co wykorzystać ich efektywność. Stale strukturalne oferują wysoką efektywność, natomiast kształtowniki walcowanie stanowią grupę materiałów które najlepiej na świecie nadają się do recyklingu. W nowoczesnym procesie produkcji na bazie pieców elektrycznych, stal produkowana jest w 100% ze złomu, który jest w pełni przetwarzany. Elementy stalowe są powszechnie stosowane w renowacjach i odnowie starych budynków. Dodatkowo technologia pieców elektrycznych ogranicza hałas, emisję CO_2 jak również zużycie wody oraz energii w produkcji hutniczej.

Belki ACB produkowane przez ArcelorMittal pozwalają na zintegrowanie wszystkich elementów wyposażenia budynków wielokondygnacyjnych na wysokości środnikach oraz na optymalizacje przekroju poprzecznego poprzez zminimalizowanie ilości materiału w środniku. Belki te są faktycznie przyjazne dla środowiska, wykorzystują minimum potrzebnego materiału będąc smukłymi i lekkimi elementami. Dla belek o stałej wysokości oszczędność CO_2 można szacować na poziomie 25% w porównaniu do rozwiązań z belek pełnościennych.

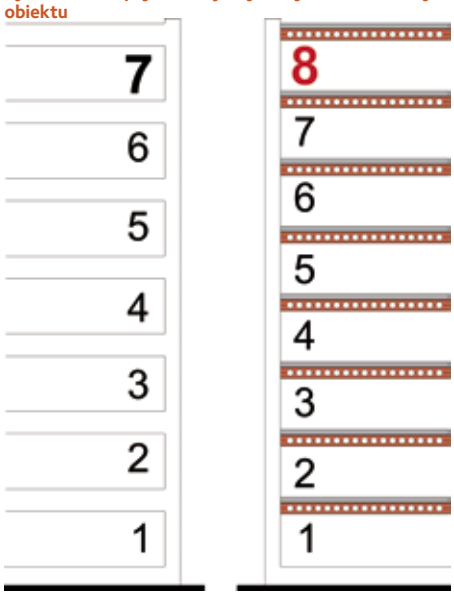
- **Aspekt ekonomiczny zrównoważonego rozwoju**

Pomimo stałego zainteresowania przez inwestorów redukcją kosztów, coraz większa ich ilość skupia się również na zoptymalizowaniu kosztów operacyjnych w połączeniu z długą żywotnością oraz dużą maksymalną elastycznością konstrukcji. Belki ACB w konstrukcjach pozwalają architektom oraz projektantom swobodnie sprostać wymaganiom inwestorów dzięki połączeniu wysokiej jakości, funkcjonalności, walorów estetycznych, lekkości oraz krótkiego okresu montażu. Zaprojektowanie smukłej i lekkiej konstrukcji powoduje zmniejszenie wysokości elementów konstrukcji oraz rozmiarów fundamentów co w konsekwencji prowadzi do oszczędności z tytułu kosztów materiału, robocizny oraz transportu.

Belki ażurowe ArcelorMittal optymalizują wysokości konstrukcji

Rysunek 33: Integracja ciągów instalacyjnych

Rysunek 34: Optymalizacja wykorzystania kubatury obiektu



lub przy stałej wysokości obiektu pozwalają na zaoszczędzenie dodatkowego piętra na każde ósme piętro budynku (15% więcej powierzchni użytkowej przy jednakowym zużyciu energii grzewczej). Pozwalają one również na zredukowanie liczby podpór (słupów) oraz rozmiarów fundamentów.

Odzyskana stal może podlegać recyklingowi bez końca. Przyjmując iż obiekt został właściwie zaprojektowany, cała konstrukcja lub jej pojedyncze elementy, po rozbiórce mogą zostać w pełni ponownie wykorzystane. Pokazuje to jak duże oszczędności dają elementy stalowe w odniesieniu do całego cyklu życiowego obiektu.

- **Aspekt socjalno - kulturowy zrównoważonego rozwoju**

Aspekt ten pozwala architektowi pogodzić jego własne dążenia estetyczne z oczekiwaniami i wymaganiami otaczającego środowiska.
Po raz kolejny, dzięki zastosowaniu systemu elementów prefabrykowanych, belki ACB oferują przejrzystą oraz smukłą konstrukcję połączoną z wysoką wytrzymałością oraz trwałością. Mieszkańcy oraz ich otoczenie egzystują w nieskażonym otoczeniu ponieważ stal jest materiałem, który nie emituje do środowiska żadnych szkodliwych substancji a zatem nie stwarza żadnego zagrożenia dla środowiska

- **Aspekt techniczny zrównoważonego rozwoju**

Konstrukcje wykonane na bazie belek ACB, wykazują odporność na całkowita utylizację oraz dają możliwość adaptacji rozwiązania do zmiennych potrzeb. Wytrzymała konstrukcja sprosta różnorodnym wymaganiom jakie są stawiane przed konstrukcją w trakcie jej pełnego cyklu życiowego, bez utraty na funkcjonalności.

- **Aspekt produkcyjny zrównoważonego rozwoju**

Konstrukcje stalowe oferują liczne zalety wynikające z ich elastyczności, lekkości oraz oszczędności. Belki ACB wykorzystywane są jako główne elementy nośne. Produkowane w procesie wytwórczym na najwyższym poziomie jakości, oferują szeroką gamę rozmiarów oraz możliwości wykorzystania nowoczesnych gatunków stali, w tym również stali wysoko - wytrzymałościowej HISTAR, produkcji ArcelorMittal. Wytwarzane w wyspecjalizowanym zakładzie, gotowe elementy są dostarczane na budowę praktycznie gotowe do wbudowania w konstrukcję. Szczegółowa kontrola jakości jest prowadzona już na etapie produkcji. Wysoki stopień prefabrykacji elementów, będący charakterystyczna cecha konstrukcji stalowych, pozwala na ograniczenia powierzchni placu budowy, zmniejszenie ilości sprzętu potrzebnego do dodatkowych prac oraz ograniczenie hałasu i zapylenia na budowie. Konstrukcje na bazie kształtowników walcowanych na gorąco ograniczają czas potrzebny na wzniesienie konstrukcji. W związku z powyższym ograniczone są również koszty transportu oraz zagrożenie wypadkami.

12. Angelina™ najnowsza belka ażurowa z sinusoidalnymi otworami

© Claude Penseyre

Możliwości uzyskiwania dużych rozpiętości przy zachowaniu wysokich walorów estetycznych takich jak smukłość i gładkość wycięć oraz lekkość formy, to większa swoboda tworzenia dla projektantów i architektów. Oszczędność ciężaru konstrukcji, optymalizacja procesu cięcia, zredukowanie ilości połączeń spawanych wpływają na znaczne obniżenie kosztów prefabrykacji. Po wbudowaniu w konstrukcję, duże i regularne kształty otworów pozwalają na swobodne prowadzenie wszelkiego typu instalacji podstropowych w tym również ciągów wentylacyjnych o dużym przekroju.

Więcej szczegółów znajduję się broszurze technicznej belki ażurowej Angelina.

Dostępne jest oprogramowanie projektowe dla belek ażurowych o otworach sinusoidalnych Angelina. Program daje możliwość wymiarowania belek ażurowych Angelina dla przypadków belek stalowych oraz zespolonych, swobodnie podpartych, jednoprzęsłowych. Program dokonuje weryfikacji elementów dla przypadków Stanów Granicznych Nośności (SGN – sprawdzenie przekroju poprzecznego, wyboczenie lokalne, wyboczenie giętno - skrętne) wg zaleceń Eurokodu 3 i Erokodu 4 (EN1993 oraz EN1994) oraz Stanów Granicznych Użytkowalności (SGU – sprawdzenie ugięć oraz drgań własnych). Program Angelina posiada wbudowaną bazę profili walcowanych na gorąco, produkowanych w koncernie ArcelorMittal. Program jest dostępny w Angielskiej, Francuskiej oraz Niemieckiej wersji językowej.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony internetowej oraz do pobrania najnowszych wersji oprogramowania projektowego: sections.arcelormittal.com

Notatki

Klimahaus, Bremerhaven, © BEAN GmbH & Co. KG

Wsparcie Techniczne i Prefabrykacja

Wsparcie techniczne

Mamy przyjemność zaoferować darmową usługę doradztwa technicznego w zakresie optymalizacji wykorzystania naszych produktów oraz rozwiązań w Państwa projektach oraz odpowiedzieć na wszelkie pytania związanie z zastosowanie kształtowników i prętów. Doradztwo techniczne obejmuje wstępne projektowanie elementów konstrukcyjnych i szczegółów konstrukcji, zabezpieczenia antykorozyjne, inżynierie pożarową, metalurgię i spawalnictwo. Nasi specjaliści są gotowi wspierać Państwa inicjatywy w każdym zakątku Świata. Aby ułatwić dobór właściwego rozwiązania oferujemy oprogramowanie projektowe oraz dokumentację techniczną którą można pobrać z naszej strony www:

sections.arcelormittal.com

Pełny zakres produktów i rozwiązań przeznaczonych dla wszystkich form budowlanych: konstrukcji, fasad, zadaszeń itp. jest dostępny na stronie:

www.constructalia.com

Prefabrykacja

Jako uzupełnienie zaplecza technicznego naszych klientów oferujemy swój nowoczesny park maszynowy oraz szeroki zakres usług w tym:

- wiercenie
- cięcie gazowe
- wycinanie profili teowych
- cięcie piłą na wymiar
- cięcie gilotyną
- nadawanie wstępnej strzałki ugięcia
- gięcie
- prostowanie
- spawanie kołków Nelsona
- śrutowanie
- zabezpieczenie powierzchni

cs.eurostructures@arcelormittal.com

Wasz partner

POLSKA
ArcelorMittal
Commercial Long Polska
Al.J.Piłsudkiego 92
41-308 Dąbrowa Górnicza
Polska
Tel: +48 32 766 82 91
Fax: +48 32 776 81 50

Wojciech Ochojski
wojciech.ochojski@arcelormittal.com
Tel: +48 604 756 000

Prowadzimy działalność w ponad 60 krajach na pięciu kontynentach. Prosimy zapoznać się z informacjami zawartymi na naszej stronie internetowej w zakładce O nas, aby odnaleźć lokalnego przedstawiciela.

Pomimo dołożenia wszelkich starań podczas tworzenia niniejszej broszury informujemy, że nie ponosimy żadnej odpowiedzialności za ewentualne błędne informacje, a także wszelkie szkody powstałe w wyniku błędnej interpretacji treści.

ArcelorMittal
Commercial Sections
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
LUXEMBOURG
Tel.: + 352 5313 3010
Fax: + 352 5313 2799

sections.arcelormittal.com

Version 2014-1

FSC
Mixed Sources
Product group from well-managed forests, and other controlled sources
www.fsc.org Cert no. EUR-COC-051203
© 1996 Forest Stewardship Council