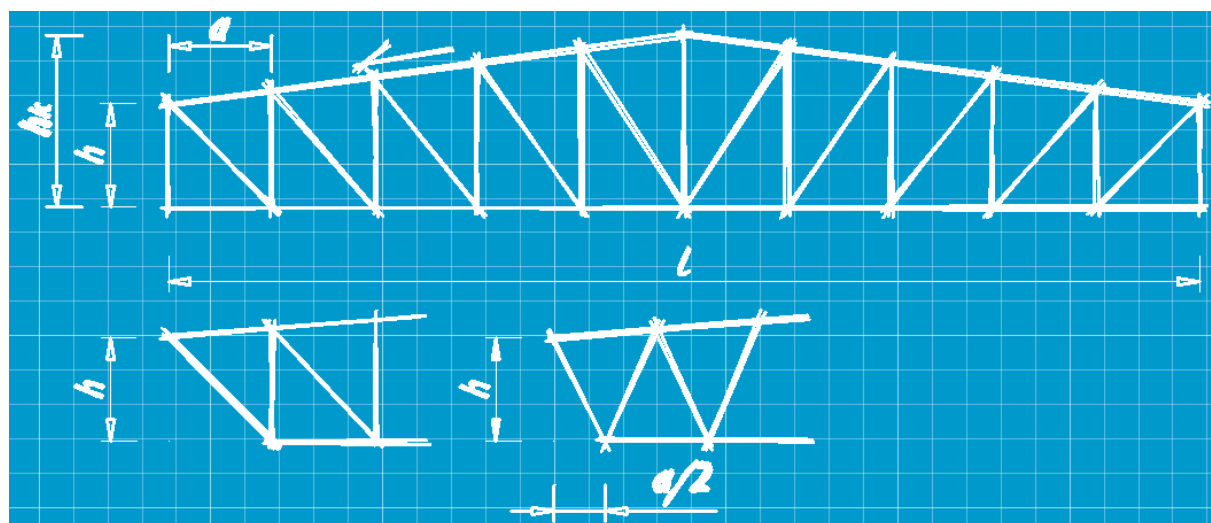


## 1. PRZYJĘCIE UKŁADU KONSTRUKCYJNEGO

W pierwszym ćwiczeniu należy przyjąć układ konstrukcyjny naszego obiektu ponieważ zdefiniowane w temacie dane, tj. długość osiowa kratownicy i typ kratownicy, nie są wystarczające do tego aby taką kratownicę wykonać. W przypadku rzeczywistych obiektów budowlanych to architekt oraz projektant decydują o formie geometrycznej i wszystkich wymiarach. W naszym przypadku należy przyjąć pozostałe wymiary osiowe naszej kratownicy aby można było ją dalej analizować.

Poniżej przedstawiam kilka wytycznych architektoniczno-budowlanych dotyczących kształtowania kratownic, które możecie znaleźć w literaturze <sup>1</sup>. Ponadto przedstawiam rysunek z użytymi oznaczeniami. Należy jednak zaznaczyć, że są to tylko wytyczne, które powinny być zachowane ale nie są obowiązkowe.

- Wysokość kratownicy swobodnie podpartych  $h$  powinna zawierać się w przedziale od  $1/12$  do  $1/7$  rozpiętości  $L$ .
- Wysokość kratownicy w kalenicy można wyznaczyć na podstawie trygonometrii.
- Rozstaw węzłów pasa górnego w rzucie poziomym  $a$  powinien być zbliżony do wysokości kratownicy co umożliwi zastosowanie wykratowania nachylonego pod kątem ok  $45^\circ$ .
- Kratownica może być podzielona na dowolną liczbę przedziałów wykratowania.
- Dopuszcza się możliwość stosowania nierównych rozstawów węzłów w przypadku gdy podział na równe przedziały jest niemożliwy.



Rys. 1. Geometria kratownic

Ponadto należy pamiętać, że są to wymiary osiowe a co za tym idzie powinny być stopniowane i zaokrąglane do pełnych 10 cm. *Ale jest to tylko zalecenie ;)*

## 2. PODZIAŁ NA ELEMENTY WYSYŁKOWE

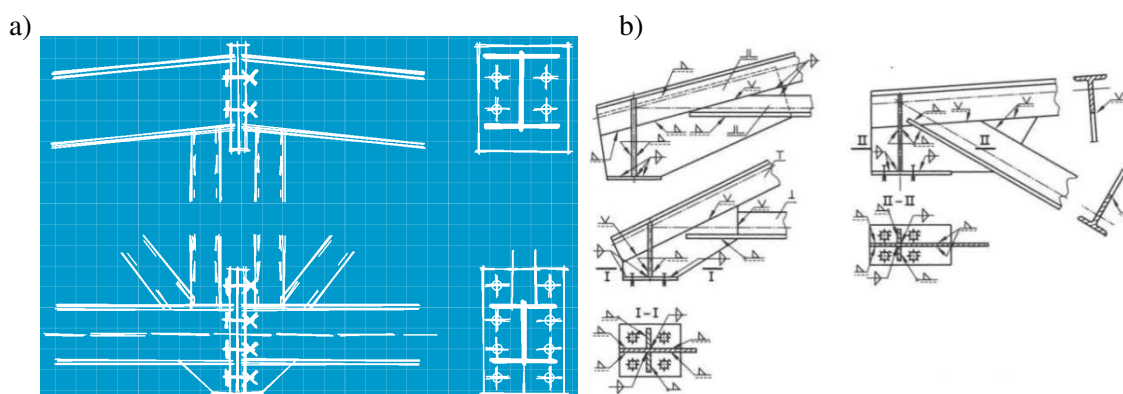
*Hmmmm... ale przecież dwudziestosześcioletniej kratownicy nie da się przewieźć samochodem ciężarowym. Czy to znaczy, że będzie trzeba transportować ją transportem ponadgabarytowym lub wykonać na budowie?*

Zasady wykonawstwa konstrukcji stalowych mówią nam żeby jak najwięcej prac przeprowadzić w zakładzie prefabrykacji, czyli tam gdzie mamy możliwość kontrolowania warunków atmosferycznych i jakości. Dopiero z zakładu prefabrykacji nasza konstrukcja trafia na budowę. Tam

<sup>1</sup> Biegus A.: Stalowy budynki halowe. Arkady 2008

konstrukcja jest scalana w większe elementy i montowana w miejsca docelowe. Transport elementów konstrukcyjnych typowych hal stalowych odbywa się drogami publicznymi przy pomocy zwykłych samochodów ciężarowych. W większości przypadków nasza kratownica powinna zmieścić się do naczepy samochodu ciężarowego, która ma całkowitą długość ok 13,5 m. Dlatego też zaleca się aby na etapie projektowania konstrukcji zaplanować podział na elementy wysyłkowe. Zalecana w literaturze długość osiowa elementu wysyłkowego wynosi 12,0 m. Jest to związane właśnie z możliwościami transportowymi typowych naczep oraz innymi ograniczeniami np. rozmiarem dostępnych wanien cynkowniczych.

Wprowadzane styki montażowe powinny być stykami śrubowymi z blachami czołowymi przyspawanymi do pasów kratownicy. Przykład takiego połączenia przedstawiono na rysunku nr 3.a. Dzieląc naszą kratownicę na elementy wysyłkowe należy pamiętać o podziale symetrycznym i stosować jak najmniej elementów wysyłkowych.



Rys. 3. Szczegóły kratownicy: a) styk montażowy, b) węzeł podporowy

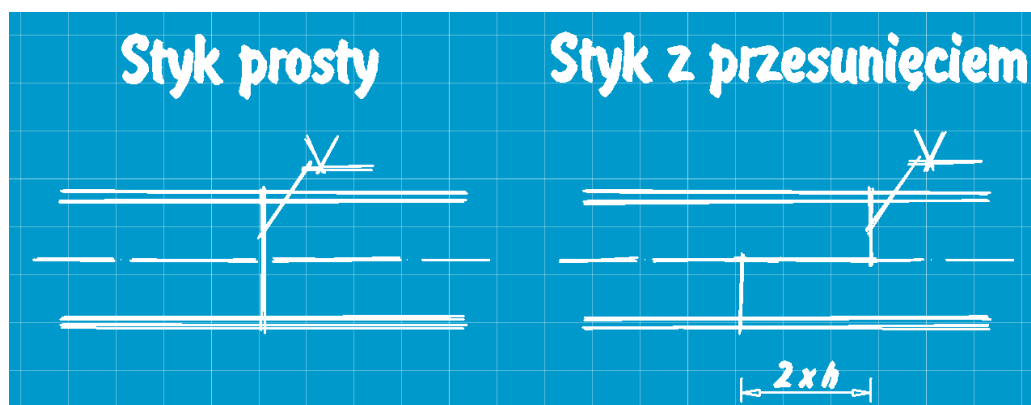
*Ok, wobec tego, czy moglibyśmy podzielić naszą przykładową kratownicę na dwa elementy wysyłkowe po 13,0 m? Teoretycznie tak. Jednak należy pamiętać o tym, że długość rzeczywista elementu jest w większości przypadków większa niż długość osiowa. Wynika to między innymi z konstrukcji podpór kratownicy i węzłów podporowych. Typowe rozwiązania węzłów podporowych przedstawiono na rysunku 3.b. Zazwyczaj projektant, który decyduje o podziale kratownicy na elementy wysyłkowe wie dokładnie w jaki sposób są te elementy skonstruowane. W przypadku naszych ćwiczeń, przyjęcie dodatkowych 50,0 cm zapasu będzie wystarczające. Ponadto należy przewidzieć trochę miejsca na zabezpieczenie ładunku.*

### 3. ZAMÓWIENIE MATERIAŁÓW DO PRODUKCJI

Zastanówmy się teraz nad produkcją naszej konstrukcji. Wszystkie elementy naszej hali będą produkowane w zakładzie prefabrykacji. Trzeba więc zamówić materiały do produkcji oraz zaplanować cięcie naszych profili. Profile do produkcji kupowane są w tzw. sztangach o długości handlowej 12,0 m w przypadku profili dużych lub 6,0 w przypadku profili niewielkich, jak np. kątowniki lub rury. W rzeczywistości profile te są nieco dłuższe, np. 12,05 m ponieważ huta uwzględnia dodatkowe straty materiału z uwagi na cięcie profili przez wykonawców.

Z takich sztang należy wyciąć wszystkie pręty potrzebne do wykonania naszej hali. Cięcie to musi być jednak zaplanowane, ponieważ nie możemy pozwolić sobie na zbyt duże straty. W przypadku naszego słupa konieczne jest wycięcie pręta o długości 7,5 m. Bez problemu wytniemy pręt o takiej długości ze sztangi, lecz pozostanie nam ok 4,5 m bieżącego profili, który można wykorzystać. W przypadku takich elementów jak słupy lub pasy kratownicy możliwe jest uciąganie profili poprzez łączenie kilku fragmentów. Takie uciąganie zwane jest stykiem warsztatowym i najczęściej jest połączeniem doczołowym spawanym. Nośność takiego połączenia jest większa niż

nośność łączonych elementów dlatego też nie jest konieczne obliczanie jego nośności. Przykład styków warsztatowych profili przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Styki warsztatowe profili stalowych

Niedopuszczalne jest jednak stosowanie więcej niż jednego styku warsztatowego w jednym elemencie. Jest to oczywiste, ponieważ niemożliwe jest zachowanie prostoliniowości elementu o długości dwunastu metrów jeśli spawamy go z dwunastu metrowych elementów. Również w przypadku wykratowania stosowanie uciągleń jest niemile widziane.

W ostatecznym rezultacie należy określić ile sztang każdego wyszczególnionego w temacie profilu należy zamówić aby wykonać wszystkie elementy naszej hali oraz jakie będą straty materiału związane z odpadami. W tym celu należy również określić ile poszczególnych elementów należy wykonać.

Zestawienie materiałów do produkcji możemy podsumować w formie tabelki. Możemy również określić jakie były by koszty zamówienia takiej ilości stali. Na potrzeby naszych analiz można przyjąć cenę 3 zł za 1 kg stali w postaci surowych profili. *Jeśli jesteś ciekaw/a to zadzwoń do najbliższej hurtowni i zapytaj o ceny takich profili.*

Profil	Liczba sztang (procent odpadów)	Masa 1 mb.	Masa profili [kg]
<b>HEB 200</b>	80 (5,8%)	61,3	58 848
<b>HEB 140</b>	80 (6,5%)	33,7	32 352
<b>RK 100x6</b>	233 (3,8%)	17,1	47 812
<b>HEB 300</b>	43 (1,1%)	117	60 372
<b>RK 120x10</b>	96	31,5	36 288
<b>Masa razem</b>			235 672
<b>Koszt materiałów (przyjęto 3 zł /kg)</b>			707 016 zł

*Sporządzanie zestawienia materiałów do zamówienia należy do obowiązków inżyniera w zakładzie prefabrykacji. Zadanie to, w przypadku każdego zakładu, może być rozwiązywane na różne sposoby. Jednym z nich jest zliczenie metrów bieżących każdego profilu i dodanie do tej wartości ok 20% zapasu. Innym sposobem jest dokładne rozrysowanie wszystkich elementów i składanie ich w sztangi. Istnieją również programy komputerowe do optymalizacji cięcia prętów.*

*Dodatkowo należy wziąć pod uwagę fakt, że często koszty wykonania spoin uciągających (koszty technologii, materiałów i robocizny) będą większe niż uzyskane korzyści z braku odpadów. Dlatego też do tego zadania należy podejść z rozwagą.*

#### 4. DOBÓR OBUDOWY I PŁATWII

*Nasza konstrukcja jest właśnie przygotowywana na produkcji a my mamy chwilę czasu na zastanowienie się nad obudową naszej hali.*

W większości przypadków stosuje się lekkie obudowy hali w formie blach trapezowych lub płyt warstwowych. Elementy takie jak blachy trapezowe są elementami nośnymi dla materiałów ocieplenia i pokrycia wierzchniego dachu. W naszym obiekcie zastosowano jedno z czterech rozwiązań technologicznych, które oznaczają pewną technologię wykonania pokrycia. Oznaczenie te są tożsame z następującym układem warstw w naszym obiekcie

- blacha trapezowa (blacha trapezowa jako element nośny + materiał izolacyjny + blacha trapezowa jako pokrycie),
- płyta warstwowa (jest elementem konstrukcyjnym izolacją i pokryciem w jednym),
- papa (blacha trapezowa jako element nośny + materiał izolacyjny + 2 x papa jako pokrycie),
- tworzywo EPDM (blacha trapezowa jako element nośny + materiał izolacyjny + tworzywo EPDM jako pokrycie),

Należy we własnym zakresie zapoznać się z technologią wykonywania pokryć halowych i poszukać informacji na temat przykładowych grubości warstw izolacyjnych. Celem naszego ćwiczenia będzie dobranie elementów konstrukcyjnych obudowy na podstawie danych producenta oraz przewidywanego obciążenia naszej konstrukcji. Polecam zapoznać się z katalogami firm BalexMetal, Pruszyński i Ruukki w zakresie lekkiej obudowy.

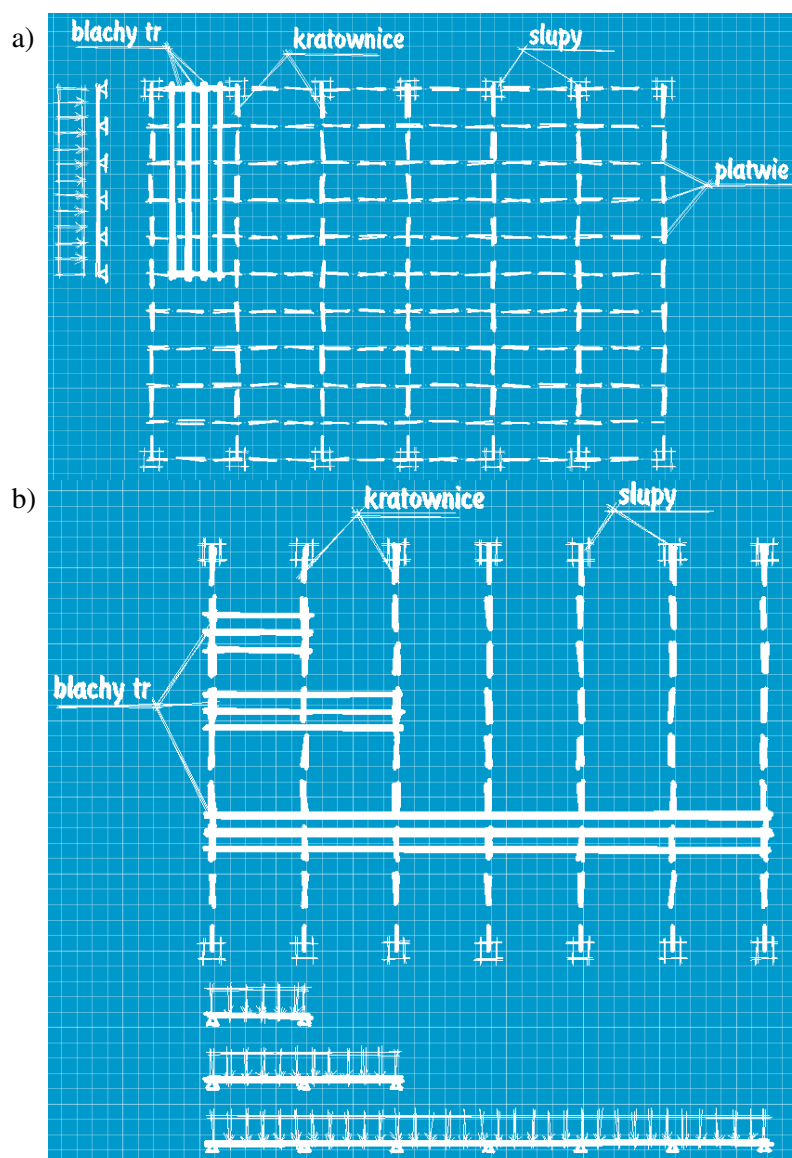
Pierwszym elementem nośnym naszej obudowy będzie blacha trapezowa (lub płyta warstwowa). Blacha trapezowa może być układana jako element pokrycia płatwiowego rys. 11.a lub bezpłatwiowego rys 11.b.

W przypadku pokrycia płatwiowego blacha jest układana prostopadle do okapu i jest podparta płatwiami, które są zlokalizowane w każdym węźle pasa górnego. Blacha taka pracuje więc w układzie belki wieloprzęsłowej o długości od kalenicy do okapu. W przypadku gdy odległość ta przekracza 13,0 m to blachy należy łączyć z dwóch części. Wysokość blachy trapezowej w pokryciu płatwiowym zależy od rozstawu płatwii oraz obciążeni. Można w takim przypadku stosować blachy mniejsze jednak nie zaleca się aby wysokość trapezu w takim przypadku była mniejsza niż 50 mm. Analogicznie konstruuje się pokrycie z płyt warstwowych.

W przypadku pokrycia bezpłatwiowego blacha trapezowa opiera się bezpośrednio na kratownicach i jest układana równolegle do okapu. Blacha taka może pracować w różnych schematach statycznych w zależności od wyboru projektanta. Może to być schemat jednoprzęsłowy lub dwu przęsłowy (jeśli odległość pomiędzy układami poprzecznymi na to pozwala). Blacha trapezowa może również pracować jako belka ciągła wieloprzęsłowa jeśli zostanie odpowiednio uciąglona. Uciąglenie blach trapezowych polega na układaniu ich w takich arkuszach aby na podporze arkusze te zachodziły na siebie. Wysokość blachy trapezowej w przypadku pokrycia bezpłatwiowego zależy od rozstawu układów poprzecznych, schematu statycznego oraz obciążenia. W przypadku pokryć bezpłatwiowych stosowane są blachy trapezowe o wysokości pow. 130 mm. Stosowanie płyt warstwowych w przypadku pokryć bezpłatwiowych jest niemożliwe z uwagi na zbyt małe nośności płyt oraz brak technologii uciąglenia.

W obu przypadkach należy określić schemat statyczny naszej blachy, rozstaw podpór oraz obciążenie. Obciążenie obliczeniowe połączenia dachowej zostało określone w temacie. Producenci blach trapezowych udostępniają katalogi, w których zestawiono dopuszczalne obciążenie danej blachy trapezowej. Wystarczy porównać wartość naszego obciążenia z obciążeniem dopuszczalnym i gotowe.

Drugim elementem nośnym naszego dachu mogą być płatwie. Postępowanie przy doborze płatwii jest analogiczne jak w przypadku blach trapezowych w pokryciu bezpłatwiowym. Płatwie również mogą pracować w schemacie belki jednoprzęsłowej, dwuprzęsłowej lub wieloprzęsłowej.



Rys. 11. Możliwe układy blachy trapezowej na połaci dachowej: a) płatwiowy; b) bezpłatwiowy

## 5. ZESTAWIENIE ELEMENTÓW KONSTRUKCJI

Założmy, że nasze elementy konstrukcyjne zostały już wykonane w zakładzie prefabrykacji. Przygotowując się do transportu naszej konstrukcji w miejsce docelowe trzeba ogarnąć ile poszczególnych elementów będzie do przetransportowania, jakie są ich gabaryty oraz masa. Trzeba też przygotować tzw. listę wysyłkową żeby inżynier na budowie mógł potwierdzić, że całe zamówienie do niego dotarło. Pomocne będą w tym celu informacje, które już zebraliśmy wcześniej. Zestawienie takie należy wykonać w tabelce z wyszczególnieniem nazwy elementu oraz jego gabarytów i masy. Masę gotowych elementów konstrukcyjnych naszej hali można określić na podstawie masy kształtowników z dodatkiem ok 5% na spoiny oraz blachy konstrukcyjne. Możemy również określić koszty wykonania takiej konstrukcji. Szacunkowe koszt stali w formie gotowego wyrobu z powłokami wynoszą od 6 do 10 zł za kilogram, w zależności od powłok anty. kor. i skomplikowania. Koszt taki najczęściej obejmuje już transport na miejsce wbudowania ale nie koszt montażu.

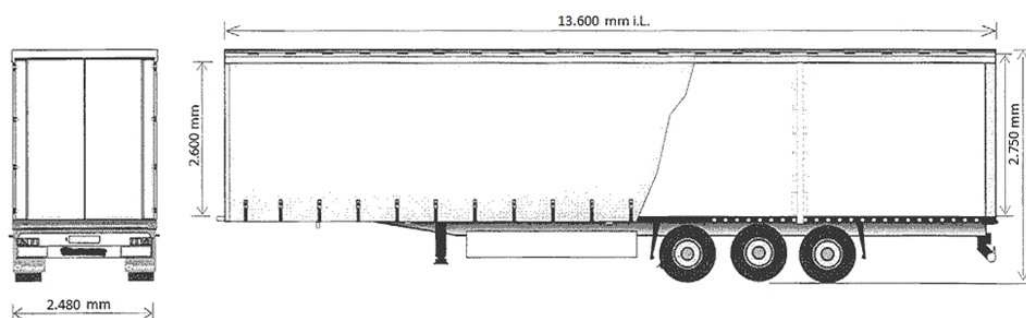
## Przykładowe zestawienie elementów konstrukcyjnych

Element konstrukcyjny	Liczba sztuk	Główne wymiary	Masa jednostkowa [kg]	Masa wszystkich elementów
<b>Słup</b>	68	7,5 m długości	925	62 900
<b>Element wysyłkowy EL 1</b>	68	8,0 m dł. x 3,5 m wys.	1 200	81 600
<b>Element wysyłkowy EL 2</b>	34	11,0 m dł. x 3,5 m wys.	1 600 kg	54 400
<b>Rygiel</b>	192	6,0 m długości	200 kg	38 400
<b>Masa razem</b>				237 300 kg
<b>Koszt wykonania (przyjęto 7 zł za 1 kg gotowej konstrukcji)</b>				1 661 100 zł

*Koszt wykonania naszej konstrukcji jest tylko i wyłącznie szacowaniem ponieważ nic jeszcze nie wiemy na temat zabezpieczeń antykorozyjnych oraz przeciwpożarowych. Wykonawcy konstrukcji z dużym doświadczeniem mając do dyspozycji gotowy projekt są w stanie dość szybko określić koszty konstrukcji. Czy 1 661 000 zł to dużo? Zwróć uwagę, że jest to tylko koszt wyprodukowania samych elementów konstrukcyjnych. Dolicz sobie do tego jeszcze koszt fundamentów, montażu, obudowy, instalacji i wyposażenia. :)*

## 6. TRANSPORT KONSTRUKCJI

Nadszedł już czas, aby wysłać naszą konstrukcję na budowę. Tak jak powiedzieliśmy sobie wcześniej, staramy się zapakować ją do zwykłego TIR-a. Wymiary naczep samochodów ciężarowych znaleźć można w internecie. Przykładowe wymiary naczepy przedstawiam poniżej.



Rys. 16. Wymiary naczepy samochodu ciężarowego

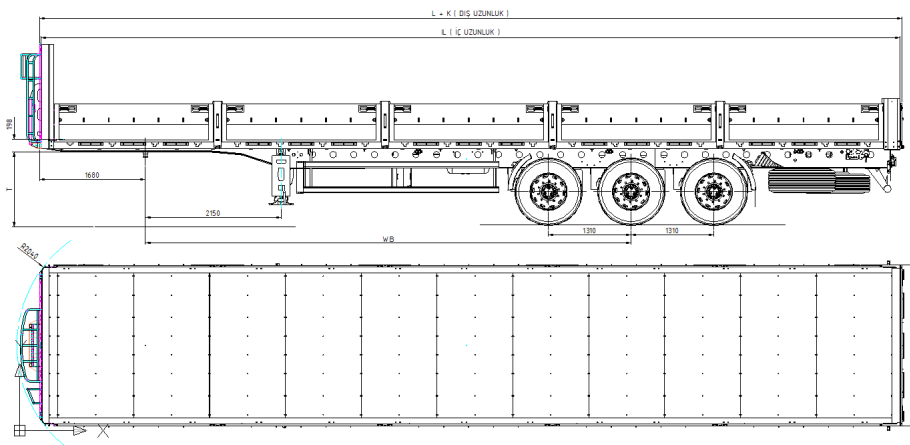
Jak Państwo widziecie dopuszczalna długość naszej konstrukcji stalowej to ok 13,5 m. Niestety maksymalna wysokość takiej naczepy to ok 2,75 m. Należy przy tym pamiętać, że konstrukcja metalowa powinna być transportowana na podkładach drewnianych lub często nawet w specjalnych stelażach aby ładunek się nie przemieszczał. Dodatkowo należy zabezpieczyć konstrukcję przekładkami, najczęściej drewnianymi. Jeśli w waszym przypadku konstrukcja nie przekracza wymiarów ładunkowych standardowej naczepy to przygotujcie rysunek poglądowy ze wskazaniem sposobu układania elementów i z zaznaczonymi elementami zabezpieczającymi.

*W przypadku transportu standardową naczepą zabudowaną nic nie może wystawać poza obudowę naczepy, jak na rysunku 17, więc jeśli nam się nie mieści to trzeba szukać innych rozwiązań.*



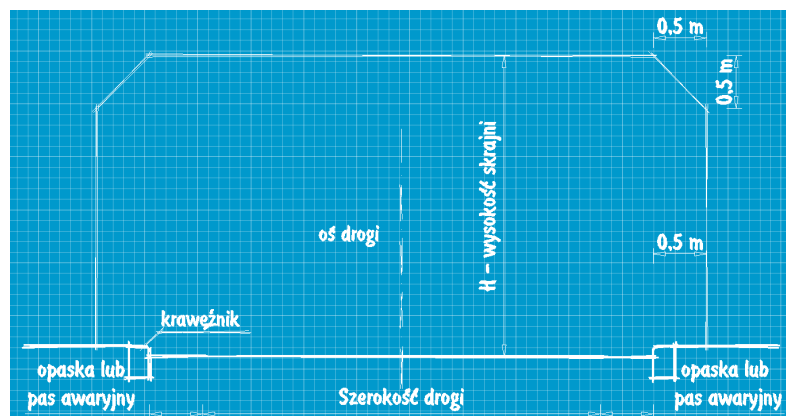
Rys. 17. Niezalecany sposób przewożenia ładunku

W przypadku większych wymiarów gabarytowych niż możliwości ładunkowe naczepy zamkniętej możliwe jest wykorzystanie naczepy otwartej (zwykłej naczepy ze zdjętą obudową) lub otwartej niskopodwoziowej. W przypadku naczep otwartych istnieje możliwość wysunięcia ładunku poza obrys naczepy ale nie więcej niż 2,0 m. W takim przypadku końcówka ładunku musi zostać odpowiednio oznakowana.



Rys. 18. Naczepa otwarta platformowa

Warunkiem wykorzystania naczepy platformowej jest skrajnia drogową. Skrajnia drogową jest to nie zabudowana przestrzeń nad drogą, która przeznaczona jest do ruchu pojazdów. Wymiary skrajni drogową zostały ustalone przez właściwego Ministra (MTiGM) rozporządzeniem z dnia 2 marca 1999 r. Teoretycznie przestrzeń ograniczona skrajnią powinna być wolna od wszelkiego rodzaju zabudowy, drzew i elementów infrastruktury drogową.



Rys. 19. Skrajnia drogową



*Wiemy, że w polskich warunkach może być różnie. Zdarzają się czasami miejscowe ograniczenia skrajni drogowej, co jest wcześniej stosownie oznaczone.*

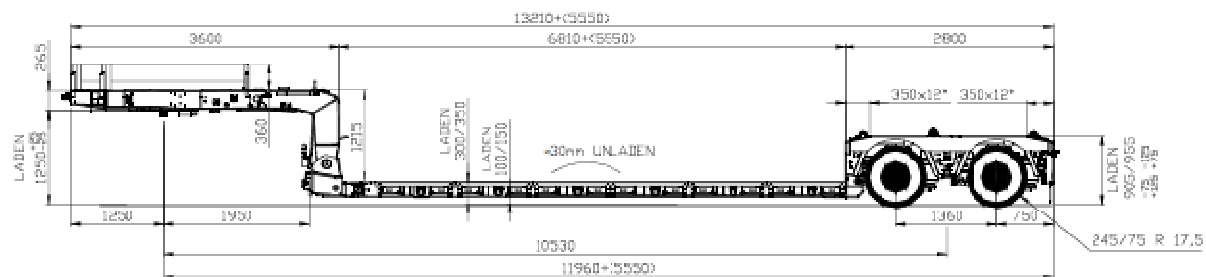


Rys. 20. Zwężenie skrajni drogowej budynkiem

Wysokość skrajni drogowej uzależniona jest od klasy drogi i zapisana jest w rozporządzeniu (paragraf 54.):

- droga autostradowa (A), szybkiego ruchu (S), główne ruchu przyspieszonego (GP),  $H = 4,7$  m,
- główne (G) i zbiorcze (Z),  $H = 4,6$  m,
- lokalne (L) i dojazdowe (D),  $H = 4,5$  m.

Wysokość skrajni drogowej oraz ewentualne miejscowe obniżenia tuneli i wiaduktów znajdujących się na trasie przejazdu ograniczają możliwości transportu naszej konstrukcji na naczepach platformowych. W przypadku gdy wysokość skrajni drogowej nie pozwala wykorzystać naczep platformowych można ratować się naczepami niskopodwoziowymi.



Rys. 20. Naczepa otwarta niskopodwoziowa z możliwością rozsunięcia

Są jeszcze dwie uwagi odnośnie zasad planowania transportu. Są to dopuszczalna ładowność naczepy oraz dopuszczalna długość zestawu pojazd z naczepą. Masa załadowanej konstrukcji nie może przekroczyć ładowności naczepy. Natomiast długość całego zespołu (ciągnik + naczepa) nie może przekroczyć 16,5 m.

*Jeśli uda Ci się dobrać naczepę do swojej konstrukcji to przedstaw sposób ładowania elementów na schematycznym rysunku. Jeśli żaden z powyższych typów naczep nie zapewnia*

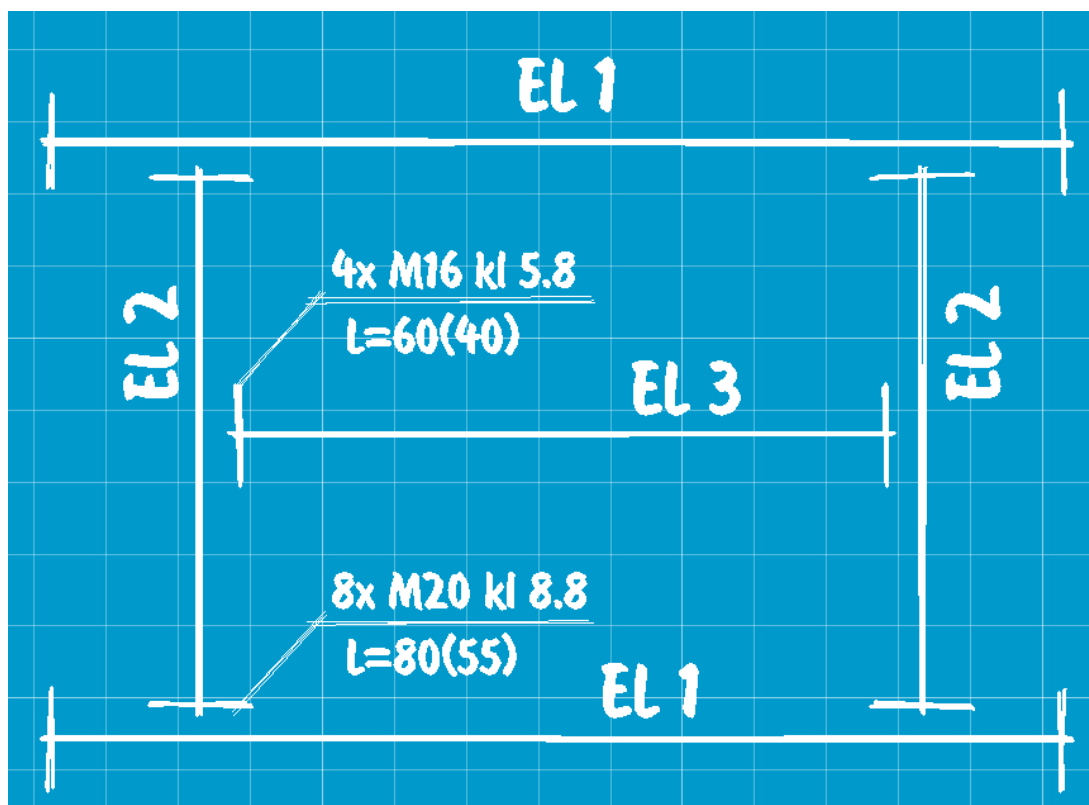


wystarczających parametrów transportu to pozostaje transport ponadgabarytowy. W takim wypadku i tak musisz opisać wymagania transportu ponadgabarytowego.

## 7. RYSUNEK MONTAŻOWY

Możemy założyć, że nasza konstrukcja dotarła bezpiecznie na plac budowy i została rozładowana. Leży sobie teraz i czeka, aż ktoś ogarnie przesłany przez projektanta rysunek montażowy. Rysunek taki powinien być wystarczający do wykonania naszej hali. Niestety większość projektantów nie zdaje sobie sprawy z zasad jego wykonywania.

Rysunek montażowy powinien zawierać informacje, które są niezbędne do prawidłowego wykonania konstrukcji. Prawidłowo wykonany rysunek montażowy przedstawia dużą część obiektu w kilku widokach wraz z przedstawieniem elementów składowych konstrukcji oraz sposobu ich łączenia. Podstawową zasadą jest przedstawianie wszystkich pojedynczych elementów wysyłkowych jako wydzielonych elementów schematycznych. Elementy te powinny być oddzielone od pozostałych wyraźnymi przerwami i co najważniejsze powinny być opisane symbolem zgodnym z dokumentacją wykonawcy konstrukcji.



Rys. 25. Sposób oznaczania elementów i ich połączeń.

Ponadto na rysunku montażowym powinny znaleźć się następujące elementy:

- osie obiektu, pomogą one w czytaniu dokumentacji i komunikacji pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego,
- wymiary osiowe oraz inne istotne, np. wysunięcie elementu wspornikowego, mimośród węzła,
- rzędne wysokościowe w tym rzędna posadzki i rzędna terenu,
- schematycznie narysowane elementy dodatkowe takie jak fundamenty, warstwy posadzki i inne,
- informacje na temat połączeń, np. ilość klasa i średnica śrub,
- masa elementów które trzeba podnieść,
- informacje na temat pokrycia dachowego i ściennego.



## 8. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI DŹWIGARA PODCZAS MONTAŻU

*Po długich godzinach studiowania dokumentacji, kilku telefonach do projektanta i konsultacji z lekarzem bądź farmaceutą wiemy już, że dźwigar kratowych o oznaczeniu DŻ.K 156U/15 trzeba zamontować w osi 23A na wysokości +7,65 m od poziomu posadzki. Bierzemy się do roboty, podnosimy kratownicę dźwigiem a ona zachowuje się tak jak na rysunku. Czy wszystko jest ok?*



Rys. 28. Kratownica w trakcie montażu

Kratownice płaskie charakteryzują się niewielką sztywnością przy wyboczeniu z płaszczyzny. W przypadku kratownic długich o dużej masie, może zdarzyć się taka sytuacja, w której podczas podnoszenia kratownica złamie się pod wpływem własnego ciężaru.

*Ale jak to? Przecież projektant zaprojektował kratownicę na dużo większe obciążenia niż jej własny ciężar.*

Projektant jest zobowiązany do sprawdzenia Stanu Granicznego Nośności. Jest to sytuacja, w której kratownica jest już zamontowana na swoim miejscu i jest usztywniona wieloma innymi elementami konstrukcyjnymi, takimi jak stężenia i pokrycie dachowe. Podczas montażu, a w szczególności podczas podnoszenia, kratownica pracuje w zupełnie innym schemacie statycznym niż w stanie granicznym nośności. Dlatego też zachodzi konieczność sprawdzenia jej nośności podczas samego podnoszenia.

*A żaden projektant tego za nas nie robi.*

Kratownicę podnosimy za pomocą belki trawersowej i zawiesi linowych zaczepionych za pas górny kratownicy. Schemat podnoszenia powinien być symetryczny i w miarę równomierny.



Rys. 28. Przykładowa belka trawersowa

Po przyjęciu schematu statycznego należy przeprowadzić analizę statyczną i określić maksymalne siły ściskające w pasie dolnym. Pas ten może się złamać, ponieważ jego długość wyboczeniowa z płaszczyzny jest większa niż ma to miejsce w stanie granicznym nośności. Dlatego też po określeniu obciążenia należy określić nośność pasa z uwzględnieniem długości wyboczeniowej z płaszczyzny (długość całego pasa) i sprawdzić warunek nośności. W przypadku gdy warunek nośności jest niespełniony to należy zmodyfikować schemat statyczny podczas montażu, np. poprzez zwiększenie liczby podpór lub usztywnić konstrukcję na czas montażu. Usztywnienie takie najczęściej realizuje się poprzez montaż na czas podnoszenia dodatkowego profilu stalowego do pasa ściskanego. Oczywiście montujemy go w taki sposób aby zwiększyć sztywność z płaszczyzny i nie zniszczyć przy tym naszej kratownicy ani powłok antykorozyjnych. Analizę nośności w stanie granicznym montażu trzeba udokumentować odpowiednimi obliczeniami i rozkładem sił normalnych.

## 9. DOBÓR DŹWIGU

*Nadszedł czas montażu naszej konstrukcji. Znajdujemy odpowiednie słupy i kratownice wśród naszych elementów podnosimy je i montujemy we właściwym miejscu. Ale zaraz, przecież nikt nie zamówił dźwigu do montażu. Dzwonimy więc do najbliższej wypożyczalni i zamawiamy dźwig. Tyko jaki?*

Standardowy montaż konstrukcji stalowej hali może odbywać się przy użyciu dźwigów samojezdnych kołowych o maksymalnym udźwigu do 60 ton. Są to dźwigi łatwo dostępne, samowystarczalne i stosunkowo tanie. Szacunkowy koszt wynajęcia takiego dźwigu to 150 zł za godzinę pracy (razem z operatorem) oraz koszty dojazdu liczone za km. W przypadku trudnych warunków terenowych na placu budowy można korzystać z dźwigów gąsienicowych, jednak w takim wypadku rosną koszty z uwagi na dodatkowy środek transportowy. Każdy dźwig jest opisywany swoim maksymalnym udźwigiem. Udźwig ten jest największy w bezpośredniej bliskości dźwigu oraz przy maksymalnym balaście i zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości podawania konstrukcji. Użycie dźwigu o większym udźwigu umożliwi podawanie elementów naszej konstrukcji na większe odległości co skraca czas montażu wiąże się jednak z większymi kosztami i dłuższym czasem oczekiwania w kolejce. Ponadto wykorzystanie dużych dźwigów wiąże się często z koniecznością asysty dodatkowych mniejszych dźwigów do montażu balastu oraz środków transportowych. Maksymalny dostępny w Polsce dźwig to Liebherr 1750.



Rys. 30. Obecnie największy dźwig samojezdny w Polsce

Zamówiony na budowę dźwig powinien umożliwiać montaż co najmniej kilku układów poprzecznych z jednego stanowiska dlatego jego udźwig i zasięg pracy powinien być przeanalizowany. Dobór dźwigu polega na określeniu dwóch istotnych parametrów: udźwig minimalny, potrzebna wysokość podnoszenia. Wartości te pozwolą określić zasięg podawania naszej konstrukcji na podstawie charakterystyki dźwigu.

#### Udźwig minimalny

$$Q \geq \frac{(Q_{kon.} + Q_{zaw.} + Q_{uszt.}) \cdot S}{n}$$

gdzie:

$Q_{kon.}$  - masa podnoszonej konstrukcji,

$Q_{zaw.}$  - masa podnoszonych zawiesi wraz z belką trawersową,

$Q_{uszt.}$  - masa usztywnień tymczasowych,

$S$  - współczynnik niejednorodności podnoszonego obciążenia,  $S = (1,1 \div 1,9)$

$n$  - liczba dźwigów.

#### Wysokość podnoszenia

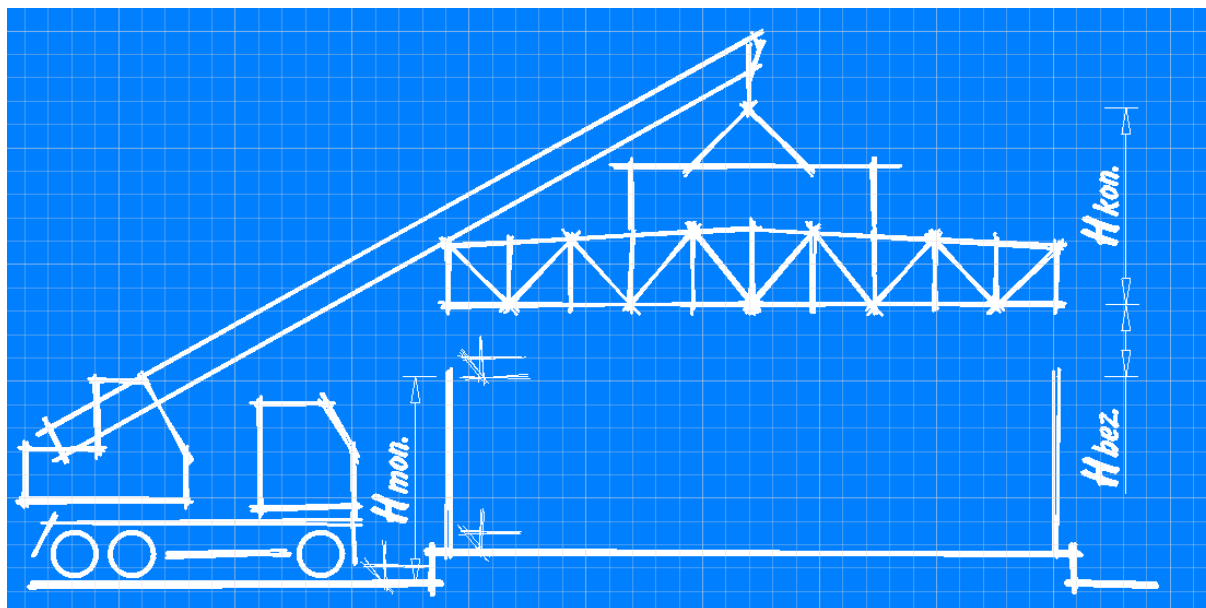
$$H \geq H_{mon.} + H_{bez.} + H_{kon.}$$

gdzie:

$H_{mon.}$  - wysokość montażowa,

$H_{bez.}$  - wysokość bezpieczeństwa,

$H_{kon.}$  - wysokość konstrukcji wraz z zawieszami.



Rys. 31. Wysokość podnoszenia

Wysokość bezpieczeństwa jest uzależniona od możliwości prowadzenia prac budowlanych, np. montaż instalacji lub obudowy ścian przez inne ekipy. W sytuacji gdy nie przewiduje się możliwości prac w rejonie montowanej konstrukcji minimalna wysokość bezpieczeństwa może wynosić 0,5 m. W sytuacji gdy możliwe jest prowadzenie prac w tym rejonie wysokość ta nie może być mniejsza niż 2,5 m.

## 10. SCHEMAT MONTAŻOWY

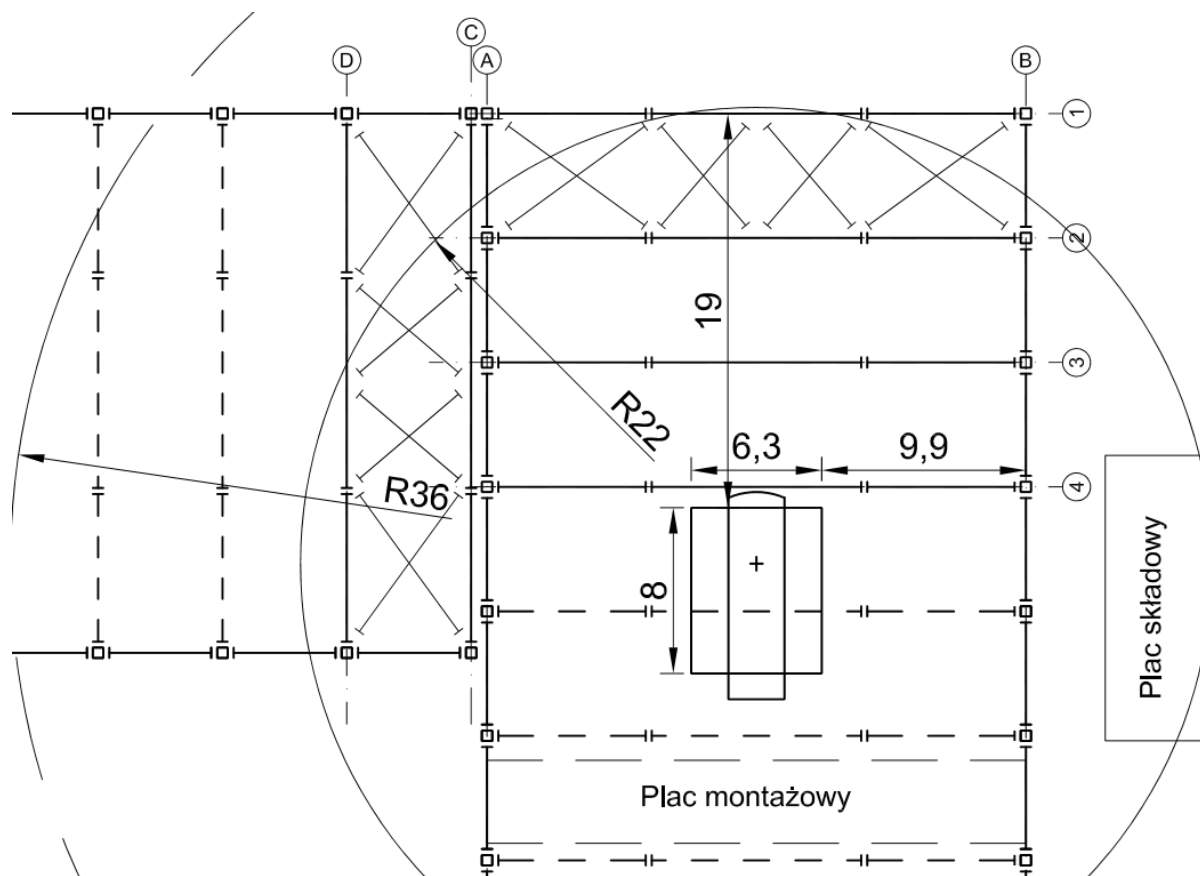
*Panie kierowniku, kierowca pyta gdzie ma podjechać tym dźwigiem?*

Zadaniem schematu montażowego jest jasne i przejrzyste przedstawienie przyjętych przez nas założeń dotyczących montażu konstrukcji hali. Schemat ten byłby częścią rysunku montażowego gdybyśmy wcześniej dysponowali informacjami dotyczącymi dźwigu. Teraz możemy rysunek ten uzupełnić o następujące szczegóły:

- widok dźwigu z jego maksymalnymi wymiarami. Są one potrzebne do przygotowania stanowiska montażowego. Należy pamiętać o zapewnieniu dojazdu do stanowiska, odpowiednio twardej i równej nawierzchni. Wymiary stanowiska powinny odpowiadać wymiarom dźwigu po rozłożeniu podpór. Stanowisko powinno być zabezpieczone przed dostępem osób z zewnątrz. Nie może być również zlokalizowane zbyt blisko elementów konstrukcyjnych.
- lokalizacja stanowiska montażowego względem montowanej konstrukcji. Należy podać podstawowe wymiary stanowiska oraz jego lokalizacji względem konstrukcji.
- zasięg pracy dźwigu w przypadku montażu słupów oraz kratownic odczytany z odpowiedniego nomogramu. Bazując na informacjach producenta dźwigu trzeba określić gdzie znajduje się pionowa oś obrotu dźwigu, następnie zaznaczyć zasięg pracy dźwigu. Zasięg ten powinien obejmować co najmniej trzy kratownice (hak znajduje się nad środkiem ciężkości).
- lokalizacja i wymiary placów montażowych i składowych. Elementy wysyłkowe kratownic najczęściej składa się ze sobą na poziomie terenu w pozycji "na płasko". Place montażowe i składowe powinny znajdować się w zasięgu pracy dźwigu.
- kolejność montażu poszczególnych elementów.



Na podstawie takich informacji można określić liczbę potrzebnych stanowisk montażowych oraz czas i koszt montażu konstrukcji.



Rys. 35. Przykładowy chemat montażu

Na podstawie schematu montażu można określić przewidywany czas i koszty całej operacji. Koszty te należy zestawić w tabelce.

Element konstrukcyjny	Liczba sztuk	Czas jednostkowy [min]	Czas łączny pracowników [h]	Czas łączny dźwigu [h]
<b>Słup (3 osoby)</b>	68	20	68	23
<b>Kratownice (7 osób)</b>	34	60	238	34
<b>Rygiel (3 osoby)</b>	192	20	192	64
<b>Płatwie</b>	384	15	48	0
<b>Pola stężeń</b>	81	15	10	0
<b>Montaż/demontaż</b>	9	60	-	9
<b>Czas łączny</b>			556 roboczogodzin	121 maszynogodzin
<b>Koszt jednostkowy</b>			25	150
<b>Koszt łączny</b>			13 900	18 150 zł + koszty dojazdu
<b>Koszt montażu</b>			32 050 + koszty dojazdu	

## 11. ODCHYLENIA MONTAŻOWE

*Udało nam się, wykonaliśmy montaż naszej konstrukcji. Wszyscy są zadowoleni ale to tylko początek naszych kłopotów, ponieważ na budowę wpada inspektor nadzoru z poziomą i groźnym błyskiem w oczach, który koniecznie chce nam uwalić 10% kontraktu za niedokładny montaż.*

Dokładność montażu konstrukcji jest podstawą do rozliczenia kontraktu za wykonanie robót budowlanych. Wymagania dotyczące tej dokładności zostały przedstawione w normie PN-EN 1090: Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych, część 2: Wymagania Techniczne dotyczące konstrukcji stalowych. Norma ta w załączniku D prezentuje podstawowe i funkcjonalne tolerancje montażu konstrukcji stalowych, które obowiązywały podczas montażu naszej konstrukcji.

Nigdy nie uda się wykonać konstrukcji idealnej dlatego też wspólnie z inspektorem sprawdzamy wybrane (przez inspektora) dokładności montażu:

- pochylenie słupów w ramach portalowych,
- prostotę słupa jednokondygnacyjnego,
- ustawienie słupa w planie,
- całkowite wymiary konstrukcji budynku w planie,
- rozstaw słupów,
- współliniowość słupów,
- prostotę belki w planie (norma nie precyzuje jaka ma być dokładność montażu kratownicy, zamiast tego należy korzystać z tolerancji dla belek).

Uwzględniając wymiary swoich elementów konstrukcyjnych oraz informacje w normie PN-EN 1090-2 należy podać dokładne wartości tych tolerancji w przypadku swojej konstrukcji.

*Ale Panie Kierowniku przecież widać, że prosto jest.*

## 12. ZABEZPIECZENIA ANTYKOROZYJNE

Projekt konstrukcji stalowej w części opisowej powinien zawierać informacje na temat zabezpieczeń antykorozyjnych. Szczegółowe informacje na temat zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji stalowych opisuje grupa norm PN-EN ISO 12944:

- część 1: Ogólne wprowadzenie,
- część 2: Klasyfikacja środowisk,
- część 3: Zasady projektowania,
- część 4: Rodzaje powierzchni i sposoby przygotowania powierzchni,
- część 5: Ochronne systemy malarskie,
- część 6: Laboratoryjne metody badań właściwości,
- część 7: Wykonanie i nadzór prac malarskich,
- część 8: Opracowanie dokumentacji dotyczącej nowych prac i renowacji.

Zabezpieczenie antykorozyjne typowej hali uzyskuje się poprzez właściwe dobranie i wykonanie powłok malarskich lub metalicznych (cynkowanie). Powłoki te powinny zostać dobrane na podstawie określonej kategorii korozyjności i wymagań technologiczno użytkowych obiektu. Kategorie korozyjności środowiska zostały określone przez normę: PN-EN ISO 12944-2:2001. Opis tych środowisk przedstawiono w tabeli.

Kategoria korozyjności	Ubytek masy na jednostkę powierzchni / ubytek grubości (po pierwszym roku eksploatacji)				Przykład środowisk typowych dla klimatu umiarkowanego (tylko informacyjnie)	
	Stal niskowęglowa		Cynk		Na zewnątrz	Wewnątrz
	Ubytek	Ubytek	Ubytek	Ubytek		

	masy [g/m <sup>2</sup> ]	grubości [μm]	masy [g/m <sup>2</sup> ]	grubości [μm]		
C 1 bardzo mała	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Ogrzewane budynki z czystą atmosferą, np. biura, sklepy, szkoły, hotele
C2 mała	> 10 do 200	> 1,3 do 25	> 0,7 do 5	> 0,1 do 0,7	Atmosfery o małym stopniu zanieczyszczenia. Głównie tereny wiejskie	Budynki nieogrzewane, w których może mieć miejsce kondensacja, np. magazyny, hale sportowe.
C3 średnia	> 200 do 400	> 25 do 50	> 5 do 15	> 0,7 do 2,1	Atmosfery miejskie i przemysłowe, średnie zanieczyszczenie tlenkiem siarki (IV). Obszary przybrzeżne o małym zasoleniu	Pomieszczenia produkcyjne o dużej wilgotności i pewnym zanieczyszczeniu powietrza, np. zakłady spożywcze, pralnie, browary, mleczarnie
C4 Duża	> 400 do 650	> 50 do 80	> 15 do 30	> 2,1 do 4,2	Obszary przemysłowe i obszary przybrzeżne o średnim zasoleniu	Zakłady chemiczne, pływalnie, stocznie remontowe statków i łodzi
C5-I Bardzo duża (przemysł owa)	> 650 do 1500	> 80 do 200	> 30 do 60	> 4,2 do 8,4	Obszary przemysłowe o dużej wilgotności i agresywnej atmosferze	Budowle lub obszary z prawie ciągłą kondensacją i dużym zanieczyszczeniem
C5-M Bardzo duża (morska)	> 650 do 1500	> 80 do 200	> 30 do 60	> 4,2 do 8,4	Obszary przybrzeżne i oddalone od brzegu w głąb morza o dużym zasoleniu	Budowle lub obszary z prawie ciągłą kondensacją i dużym zanieczyszczeniem

Typowe hale produkcyjno magazynowe można kwalifikować, w zależności od przeznaczenia i otoczenia, w kategorii C2 do C4. W każdej z tych kategorii norma przedstawia roczny ubytek korozyjny stali. W przypadku konstrukcji niezabezpieczonych przed korozją, np. kominy przemysłowe od strony wewnętrznej, można projektować tzw. naddatek korozyjny który zapewnia odpowiednią trwałość konstrukcji w przewidywanych latach użytkowania. W przypadku konstrukcji zabezpieczonych przed korozją należy dobrać odpowiednie zestawy malarskie. Prawidłowo wykonane zabezpieczenie malarskie składa się trzech warstw (podkład, warstwa zasadnicza, warstwa wierzchnia) o odpowiedniej grubości składowej i łącznej. Szczegółowe informacje dotyczące systemów malarskich oraz zalecanych grubości minimalnych i przewidywanej trwałości określono w normie PN-EN ISO 12944-5.

Wykonanie powłoki malarskiej wymaga przygotowaniu powierzchni. W przypadku najczęściej wykorzystywanych metod strumieniowo ściernych, w większości systemów malarskich zaleca się stopień SA 2 1/2.

Dobór systemu malarskiego jest indywidualną decyzją projektanta w porozumieniu z inwestorem. Decyzję tą podejmuje się najczęściej w oparciu o materiały udostępnione przez producentów. Jeśli uda nam się podjąć decyzję to koszty naszego rozwiązania można zestawić w tabelce.

Zestawienie powierzchni malarskiej i kosztów materiałowych.

Profil	Metry bieżące	Pow. /1 mb.	Powierzchnia profili [m2]
<b>HEB 200</b>	960	1,15	1104
<b>HEB 140</b>	960	0,81	778
<b>RK 100x6</b>	2796	0,38	1062
<b>HEB 300</b>	516	1,73	893
<b>RK 120x10</b>	1152	0,46	530
<b>Powierzchnia razem</b>			4367
<b>+ dodatek 10 %</b>			4804
<b>Zużycie farby podkładowej [litry]/ koszt [zł]</b>			801 litrów / 25 600 zł
<b>Zużycie farby wierzchniej [litry]/ koszt [zł]</b>			740 litrów / 36 260 zł

### 13. ZABEZPIECZENIA PRZECIWOŻAROWE

W przypadku każdego projektowanego obiektu projektant powinien określić klasę odporności pożarowej budynku lub jego części, ponieważ klasa ta determinuje wymagane nośności REI (R - nośność konstrukcji w warunkach pożaru; E - szczelność przegród; I - izolacyjność przegród) poszczególnych elementów obiektu. Uzyskanie odpowiednio wysokiej nośności wymaga zastosowania odpowiednich zabezpieczeń przeciwpożarowych.

W przypadku obiektów produkcyjnych i magazynowych klasę odporności pożarowej budynku określa się na podstawie gęstości obciążenia pożarowego budynku lub jego strefy pożarowej. Gęstość obciążenia ogniowego określa się zgodnie z normą PN-B-02852 na podstawie wzoru:

$$Q_d = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} \cdot G_i)}{F}$$

gdzie:

$Q_{ci}$  - ciepło spalania materiału zgromadzonego w strefie,

$G_i$  - objętość materiału zgromadzonego w strefie,

$F$  - powierzchnia strefy.

Obliczając gęstość obciążenia ogniowego budynku lub danej strefy należy wziąć pod uwagę wszystkie możliwe materiały składowane, wytwarzane i przerabiane, które mogą ulec spaleni w sytuacji pożaru. W tym celu projektant w porozumieniu z inwestorem i technologiemi powinien określić objętości tych materiałów, jakie mogą znajdować się w budynku. Należy przy tym uwzględnić wszystkie instalacje, elementy wykończeniowe, maszyny i wyposażenie, które może ulec spaleni. Zestawiając materiały palne można pominąć materiały zanurzone w wodzie lub roztworach wodnych oraz materiały o zawartości wody powyżej 60%. Ponadto określając objętość materiałów można przyjmować tylko 10% objętości takich materiałów jak:

- papier w rolkach o średnicy powyżej 0,5m i długości 1,0 m,
- drewno okrągłe o średnicy co najmniej 0,2 m,
- przetwory owocowo warzywne i mrożonki,
- napoje w opakowaniach gotowych.

oraz 20% objętości takich materiałów jak:

- produkty sypkie spożywcze (mąka, cukier, zboża) składowane w workach,
- papy składowane w rolkach,
- papier w ryzach i paczkach.

Ciepłota spalania przykładowych materiałów znaleźć można w normie PN-B-02852.

Na podstawie gęstości obciążenia ogniowego należy określić klasę odporności pożarowej budynku (A, B, C, D, lub E).

Maksymalna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej w budynku $Q$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	Budynek o jednej kondygnacji nadziemnej (bez ograniczenia wysokości)	Budynek wielokondygnacyjny			
		niski (N)	średniowysoki (SW)	wysoki (W)	wysokościowy (WW)
$Q \leq 500$	„E”	„D”	„C”	„B”	„B”
$500 < Q \leq 1.000$	„D”	„C”	„C”	„B”	„B”
$1.000 < Q \leq 2.000$	„C”	„B”	„B”	*	*
$2.000 < Q \leq 4.000$	„B”	„A”	„A”	*	*

Na podstawie określonej klasy odporności pożarowej budynku należy następnie określić wymagane nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych obiektu.

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku					
	główna konstrukcja nośna	konstrukcja dachu	strop	ściana zewnętrzna	ściana wewnętrzna	przekrycie dachu
"A"	R 240	R 30	REI 120	EI 120	EI 60	RE 30
"B"	R 120	R 30	REI 60	EI 60	EI 30	RE 30
"C"	R 60	R 15	REI 60	EI 30	EI 15	RE 15
"D"	R 30	(-)	REI 30	EI 30	(-)	(-)
"E"	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

W celu uzyskania wymaganych nośności należy zastosować odpowiednie środki ochrony przeciwpożarowej konstrukcji stalowej. Środki te należy opisać i przedstawić zestawienie kosztów.

*To już jest koniec. Nie ma już nic.*