

```
digitalWrite(R,  
digitalWrite(GG,  
digitalWrite(B,  
t_ruch = millis(  
while((millis()
```

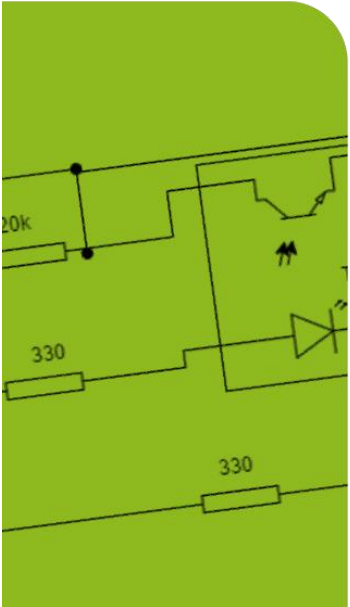
Wojciech Kolarz

PROJEK

Dźwignia dwustronna

zestaw do eksperymentowania

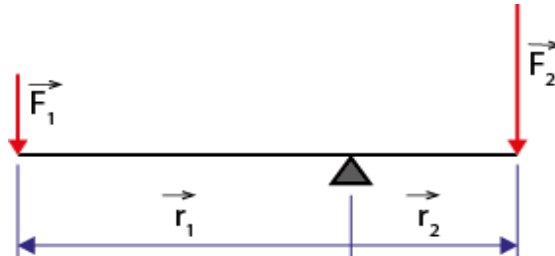
DIY MODELOWANIE 3D
PROGRAMOWANIE
PODSTAWY ELEKTRONIKI



Informacje uzupełniające do materiału filmowego.

Podstawy teoretyczne.

Dźwignia dwustronna to jedna z maszyn prostych.



Dźwignia pozostaje w równowadze, gdy wypadkowy moment sił wynosi 0.

Zakładając, że wektory sił są prostopadłe do ramion dźwigni, równanie dźwigni można zapisać następująco:

$$F_1 r_1 - F_2 r_2 = 0$$

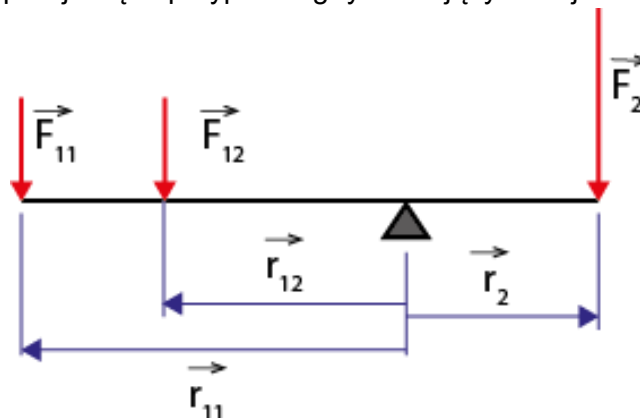
$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

Jeśli pojęcia “moment siły” czy “wektor” są dla Ciebie odstrasżające to wystarczy zapamiętać, że równia dwustronna pozostaje w równowadze, gdy iloczyn siły i odległości punktu zaczepienia tej siły od punktu podparcia dźwigni (czyli długości ramienia, na którym działa siła) z lewej strony, musi być równy iloczynowi siły i odległości punktu zaczepienia tej siły z prawej strony. Ważna uwaga: siły muszą działać prostopadłe do ramienia dźwigni.

Jeśli znamy długości ramion dźwigni i siłę F_1 bez problemu obliczymy wielkość siły F_2 (takiej, aby dźwignia pozostawała w równowadze).

$$F_2 = F_1 \frac{r_1}{r_2}$$

Pozornie sytuacja komplikuje się w przypadku gdy działających sił jest więcej niż dwie:



Ponieważ dla utrzymania równowagi moment wypadkowy musi być 0, równanie możemy zapisać następująco:

$$F_{11}r_{11} + F_{12}r_{12} - F_2r_2 = 0$$

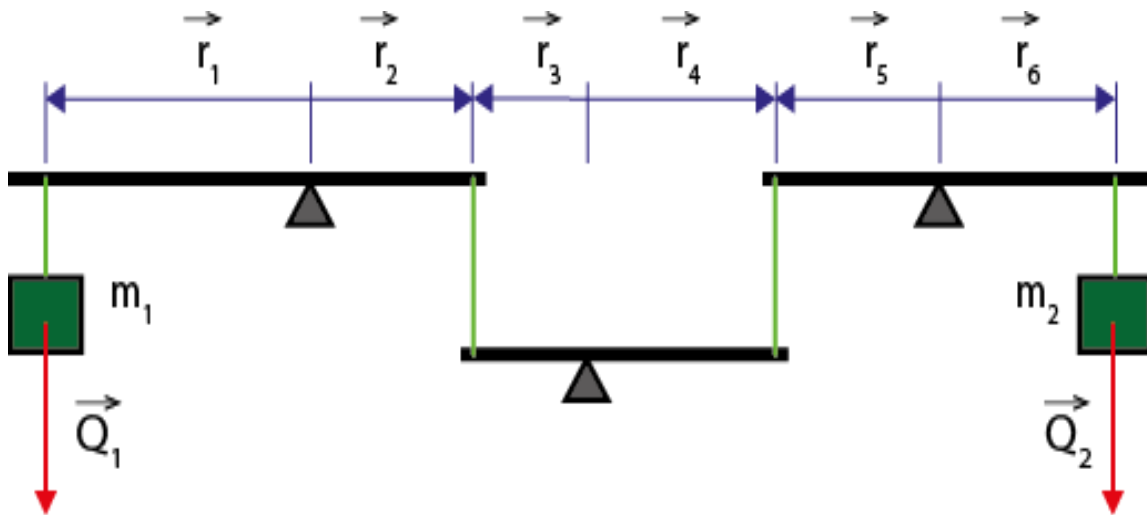
$$F_{11}r_{11} + F_{12}r_{12} = F_2r_2$$

Prościej i ogólniej: suma iloczynów sił i długości ich ramion z lewej strony dźwigni musi być równa sumie iloczynów sił i długości ich ramion z prawej strony.

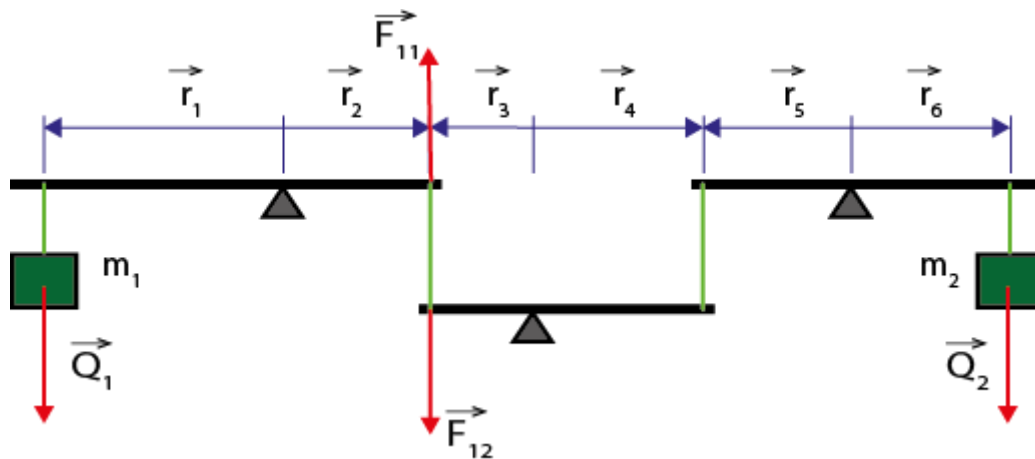
Dla podanego przykładu, po przekształceniu poprzedniego wzoru, znając długości ramion i siły działające po lewej stronie, siłę działającą po prawej stronie (powodującą utrzymanie dźwigni w stanie równowagi) można obliczyć:

$$F_2 = \frac{F_{11}r_{11} + F_{12}r_{12}}{r_2}$$

Kilka dźwigni może współpracować razem - przykład poniżej. Jak poradzić sobie z przypadkiem, gdy układ składa się z trzech dźwigni połączonych ze sobą (np. sznurkiem, którego masę możemy pominąć)?



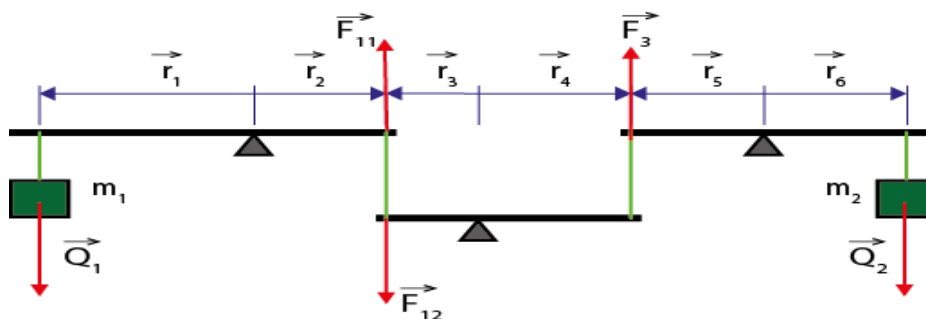
W jakim miejscu i jak dużą masę należy umieścić po prawej stronie, aby zrównoważyć siłę ciężkości masy po lewej stronie?



Siła ciężkości Q_1 spowoduje powstanie (po drugiej stronie lewej dźwigni) siły F_{11} , aby tę siłę zrównoważyć środkowa dźwignia powinna oddziaływać siłą F_{12} (co do wartości równą F_{11} , lecz zwróconą przeciwnie):

$$F_{12} = Q_1 \frac{r_1}{r_2}$$

Aby powstała siła F_{12} , na środkową dźwignię musi działać siła F_3 .



$$F_3 = F_{12} \frac{r_3}{r_4} = Q_1 \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4}$$

Siła F_3 będzie pochodziła z siły ciężkości masy zawieszonyj po prawej stronie.

$$Q_2 r_6 = F_3 r_5 = Q_1 \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4} r_5$$

$$m_2 g r_6 = m_1 g \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4} r_5$$

$$m_2 r_6 = m_1 \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4} r_5$$

Do przeprowadzenia doświadczeń związanych z powyższymi rozważaniami może posłużyć samodzielnie skonstruowany zestaw dźwigni z ciężarkami.

Taki zestaw możesz zaprojektować samodzielnie, wzorując się na mojej konstrukcji, możesz również skorzystać z gotowych plików w formacie .stl i wydrukować wszystkie niezbędne elementy.

Zastosowane materiały.

Elementy drukowane: filament PLA, wypełnienie dowolne (w prezentowanym przykładzie 15%), typowe ustawienia dla dyszy 0,4mm.

Gwoździe $\phi 2,2$ mm, o długości 50mm.

Rurka mosiężna $\phi 4$ mm.

Podkładki metalowe.

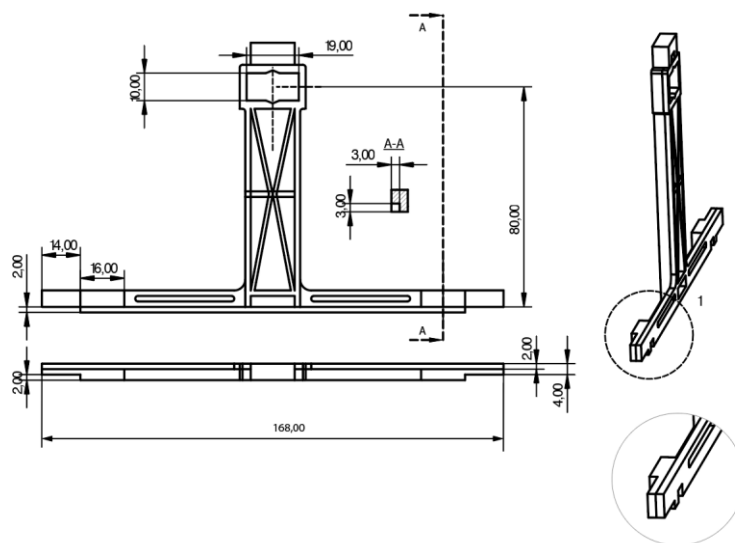
Opcjonalnie klej cyjanoakrylowy, farby modelarskie.

Szczegóły konstrukcji.

Elementy zestawu dźwigni i podpór zostały wykonane w technologii druku 3D. Jedynie do osadzenia dźwigni na podporach użyto elementów metalowych (stalowych gwoździ i tulejek mosiężnych). Elementy zostały zaprojektowane do wydruku na drukarce 3D posiadającej powierzchnię stołu o wymiarach 20x20 cm. Możesz spróbować wydrukować dłuższe elementy układając je po przekątnej, na powierzchni 15x15cm. Całość skonstruowana została tak, aby stanowiła zestaw łatwy do montażu i demontażu. Na poniższych rysunkach konstrukcyjnych podane zostały jedynie istotne wymiary.

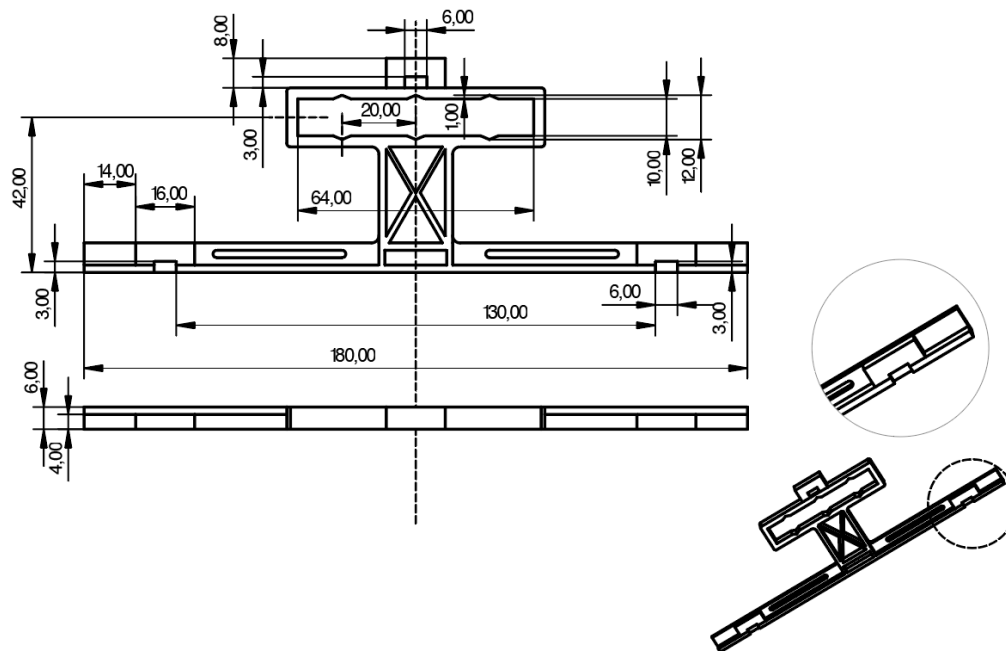
Zestaw składa się z trzech dźwigni: dwie dźwignie zewnętrzne (osadzone na wyższych podporach) i dźwignia środkowa (osadzona na niższej podporze).

Podpora duża - należy wydrukować cztery takie elementy. Dwie podpory stanowią komplet do zamocowanie jednej dźwigni.



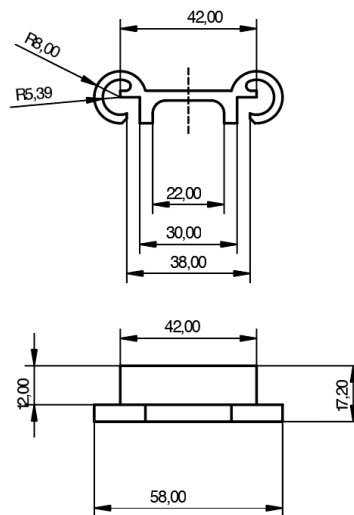
Rys. 1. Podpora duża.

Dźwignia środkowa zamocowana jest na **podporze małej** - należy wydrukować dwie takie podpory.



Rys. 2. Podpora mała.

Podpory złączone są dwoma rodzajami poprzecznych: szersze - dolne i węższe - górne. Rysunek poniżej przedstawia tylko **złącze poprzeczne dolne**. Złącza skonstruowane są tak, aby umożliwiły łączenie podpór "na zatrask".



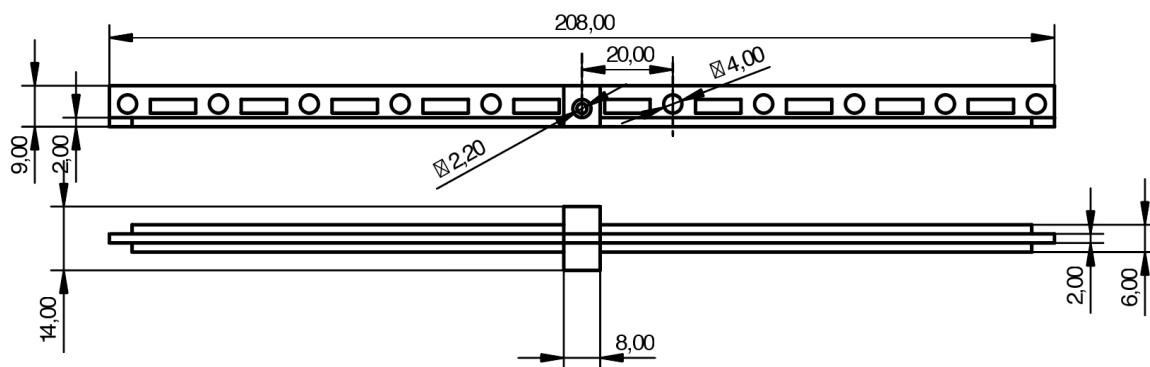
Rys. 3. Złącze poprzeczne

Podpory posiadają wypustki i rowki umożliwiające sztywne połączenie z użyciem odpowiednich złączy. Rysunek poniżej prezentuje sposób złożenia podpór wysokich, podpory niskie składa się analogicznie.



Rys. 4. Montaż podpory.

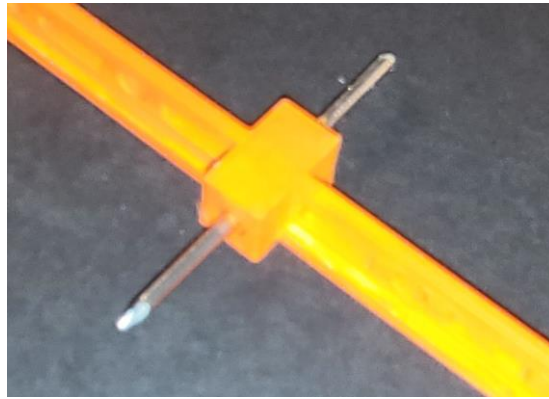
Dźwignia jest profilem posiadającym 10 otworów (po 5 z każdej strony) służących do zamocowania obciążenia. Otwory rozmieszczone są co 20 cm.



Rys. 5. Dźwignia.

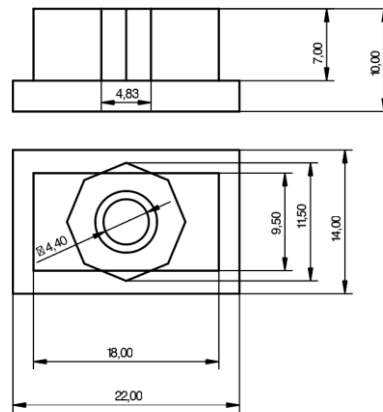
W miejscu mocowania, dźwignia posiada otwór o średnicy 2,2 mm. W otworze tym należy umieścić gwóźdź o długości około 5 cm (z obcięтым łebkiem) - gwóźdź będzie osią dźwigni. Zamiast gwoźdźa można zastosować okrągły pręt metalowy o długości 5 cm i o zbliżonej średnicy (około 2 mm, standardowe gwoździe o długości 5 cm posiadają średnicę 2,2 mm). Podczas osadzania gwoźdźa w otworze należy go nagrzać (np. za pomocą lutownicy) - uzyska się wtedy trwałe połączenie. W przypadku użycia gwoźdźa lub pręta metalowego o nieco mniejszej średnicy, należy go osadzić na kleju cyjanoakrylowym (kropelka).

Dźwignie można wydrukować stosując odmienny od podpór kolor filamentu. W moim wykonaniu wszystkie elementy wydrukowane zostały tym samym filamentem, dźwignie zostały pomalowane akrylową farbą modelarską.



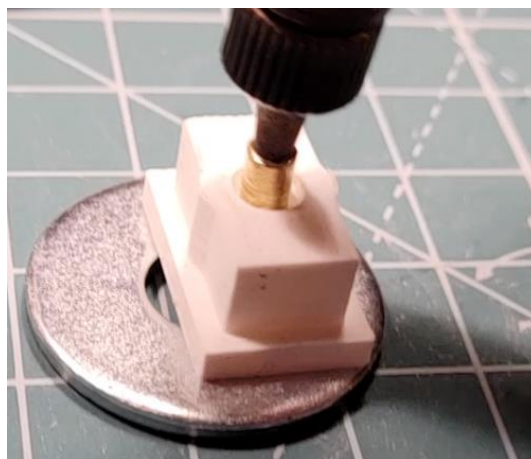
Rys. 6. Osadzenie gwoźdźcia w dźwigni.

Dźwignia osadzona będzie w uchwytach wkładanych do otworów w górnych częściach podpór (w podporze środkowej uchwyt można osadzać w trzech różnych pozycjach, co zwiększa uniwersalność - umożliwia wykonanie wielu kombinacji łączenia ramion dźwigni).



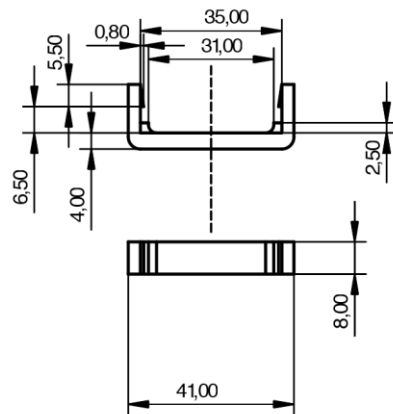
Rys. 7. Uchwyt dźwigni.

W otworze uchwytu osadzona będzie oś dźwigni. Aby ograniczyć tarcie w otworze można umieścić tulejkę mosiężną (współczynnik tarcia mosiądz - stal jest stosunkowo mały). Tulejką może być przycięty na długość około 10 -12 mm kawałek rurki mosiężnej (dostępnej w marketach budowlanych) o zewnętrznej średnicy 4 mm. W przypadku problemu z osadzeniem tulejki, należy ją rozgrzać lutownicą, w przypadku gdy tulejka osadzi się zbyt luźno należy użyć kleju cjaanoakrylowego.



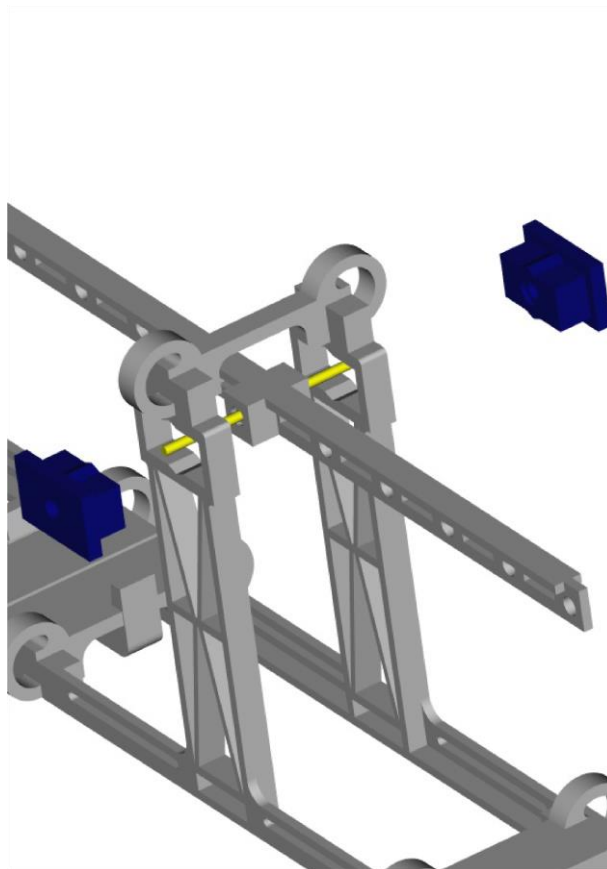
Rys. 8. Osadzanie tulejki mosiężnej.

Kompletne dźwignie należy połączyć w jedną całość (zestaw trzech dźwigni) stosując **złącza podłużne**:

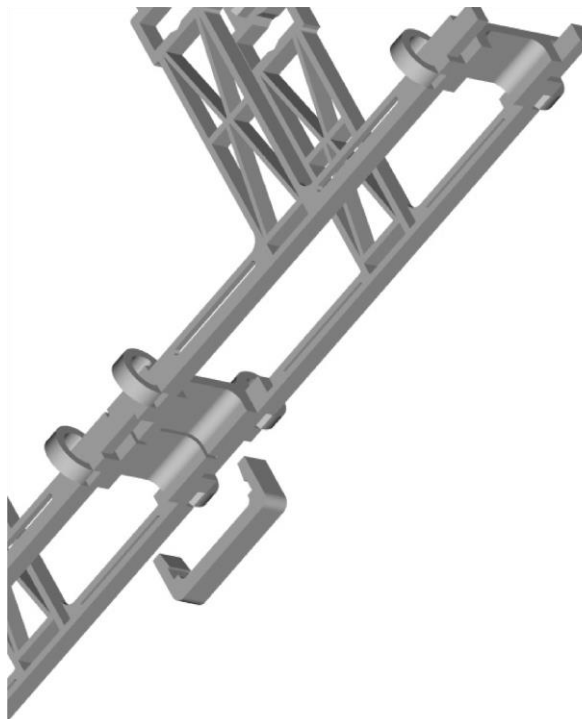


Rys. 9. Złącze podłużne.

Poniżej przedstawiony jest sposób montażu dźwigni i łączenia podpór oraz łączenia kompletnych dźwigni.



Rys. 10. Montaż (1).



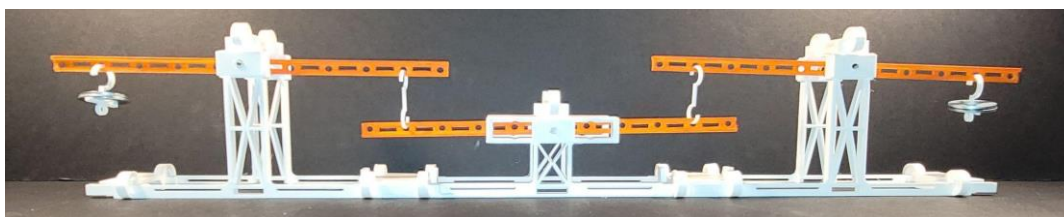
Rys. 11. Montaż (2).

Ciężarki.

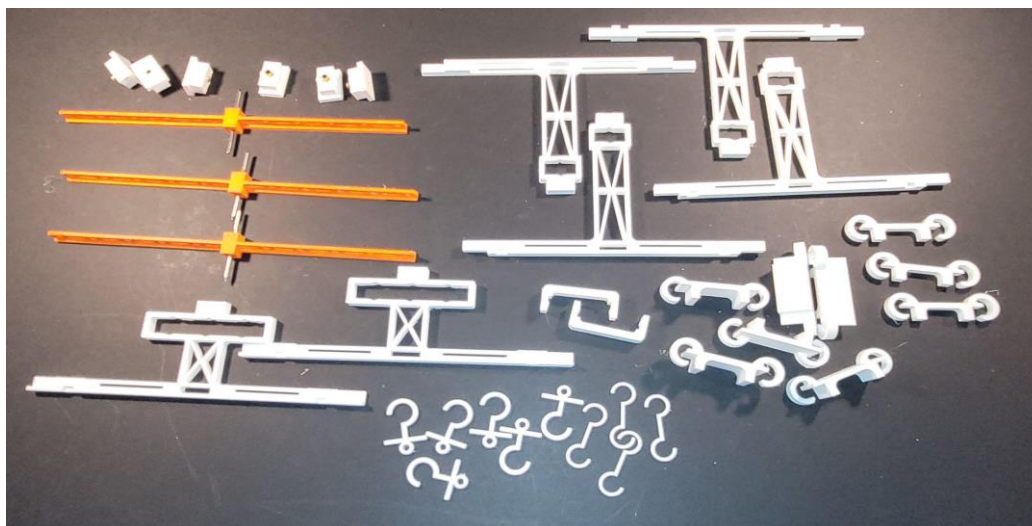
W moim rozwiązaniu - ciężarki to podkładki metalowe. Podkładki nakładane są na uchwyty. Uchwyty mają masę około 0,35g, natomiast masa umieszczonych na uchwycie podkładek może wynosić od około 10g do około 35g, uchwyty (łączniki) służące do łączenia dźwigni mają masę około 0,15g. Mała masa uchwytów oraz łączników praktycznie nie ma wpływu na działanie całego układu (zazwyczaj elementy te używane są parami - po jednej i drugiej stronie dźwigni, ponadto stanowią wraz z podkładkami jedno obciążenie, jak również moment działający na dźwignię, pochodzący od siły ciężkości uchwytów jest porównywalny z momentem tarcia).



Rys. 12. Sposób zawieszenia ciężarków i łączenie dźwigni.



Rys. 13. Całość po zmontowaniu.



Rys. 14. Zestaw rozłożony.

UWAGI:

1. Pasowanie elementów jest raczej ciasne. W związku z tym, w przypadku trudności ze złożeniem, może istnieć konieczność delikatnego spiłowania wybranych powierzchni (krawędzi) - dotyczy to głównie osadzenia uchwytów dźwigni - powinny dać się wsuwać i wysuwać z niewielkim oporem.
2. Montowanie osi dźwigni powinno być wykonane starannie (zachowanie prostokątności osi do dźwigni), należy zwrócić szczególną uwagę podczas montowania osi na gorąco.
3. Montowanie do uchwytu dźwigni mosiężnych tulejek należy wykonać starannie szczególnie w przypadku montowania na gorąco (aby zachować prostokątność tulejki do podpory). Montowanie tulejek mosiężnych nie jest konieczne, można pominąć ten element.
4. Po zmontowaniu dźwigni może istnieć konieczność jej wyważenia.
Jeśli wyważenie wymaga drobnej korekty (dźwignia bez obciążenia nieznacznie odchyła się w jedną stronę) - można delikatnie spiłować jeden z końców dźwigni (np. jeśli dźwignia odchyła się w lewo - czyli lewa strona ma zbyt dużą masę - należy delikatnie spiłować lewy koniec dźwigni).
Jeśli wyważenie wymaga nieco większej korekty można z jednej strony przymocować odrobinę plasteliny - miejsce mocowania i ilość należy dobrać eksperymentalnie. Zamiast plasteliny można dokleić odrobinę filamenu lub dokleić kropelkę kleju do klejenia na gorąco.
5. Jako ciężarki mogą być użyte podkładki metalowe o wewnętrznej średnicy od 4 do 11 mm i średnicy zewnętrznej nie większej niż 30 mm (optymalnie 20-25 mm).