

# ***MOC na edukację***

*Program Popularyzacji nauki i Techniki MOC Odkrywców*

*Scenariusz zajęć warsztatowej edukacji naukowo-technicznej*

## ***Nr 11. Harmonograf***

### **PROLOG**

Głównym założeniem projektu jest nawiązanie do dobrych tradycji edukacyjnych realizowanych programowo w XX wieku (m.in. w ramach szkolnych kół zainteresowań, pracowni ZPT, lekcji eksperymentalnych, etc.) i połączenie ich z nowoczesnymi środkami stosowanymi we współczesnych centrach nauki, muzeach techniki i innych tego typu placówkach. Istotą formuły według, której realizowane będą działania opisane w niniejszym scenariuszu, jest połączenie tradycyjnych form eksperymentowania z praktycznym rozwijaniem i wykorzystaniem umiejętności politechnicznych, nacisk na organizację pracy w grupie, współpracę przy rozwiązywaniu problemów technicznych, umiejętność tworzenia dokumentacji technicznej przedmiotów wykonywanych samodzielnie, sprawność językową w omawianiu zjawisk oraz nabycie umiejętności technicznych na wielu poziomach zaawansowania. Podczas warsztatów uczestnicy wraz z instruktorami i koordynatorami – popularyzatorami nauki - projektują i budują małe eksponaty i modele, analogiczne do tych, jakie znajdują się w centrach nauki i innych placówkach edukacji nieformalnej.

---

### **OPIS MERYTORYCZNY**

Harmonograf to urządzenie, którego wahadłowy mechanizm może wykonywać ruchy w dwóch kierunkach do siebie prostopadłych, z możliwością rejestrowania toru ruchu wypadkowego (np. w formie rysunku). Taką konstrukcją może być np. wahadło podwójne, złożone z dwóch wahadeł, z których jedno drga względem punktu zawieszenia w płaszczyźnie prostopadłej do podstawy, a drugie, zawieszone pod pierwszym, w płaszczyźnie dowolnej. Może to być również konstrukcja wyglądem przypominająca zwykłą huśtawkę, która potrafi się poruszać nie tylko w jednej płaszczyźnie, jak to robią huśtawki zamontowane na placach zabaw. W pierwszym przypadku urządzenie piszące porusza się razem z zespołem wahadeł, w drugim - zamocowane jest na nieruchomym wsporniku, pod którym przesuwa się płaszczyzna podstawy.

Wszystkie te urządzenia wprowadzone w ruch rysują przepiękne i skomplikowane krzywe, które dawno temu zbadał i opisał francuski inżynier Jules Antoin Lissajous. Nazwane od jego nazwiska krzywe Lissajous to krzywe parametryczne wykreślane przez punkt wykonujący drgania harmoniczne w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Są one dowodem na to, że skomplikowane ruchy okresowe (powtarzające się w równych odstępach czasu) dają się przedstawić w formie ruchu wypadkowego ruchów drgających prostych.

---

## **BUDUJEMY WIEDZĘ PRAKTYCZNĄ**

Zaleca się, aby cały proces twórczy oraz zajęcia warsztatowe, przeprowadzone były w specjalistycznej pracowni edukacji naukowo-technicznej, odpowiednio wyposażonej w niezbędne narzędzia oraz park maszynowy, pozwalający na wykonywanie wszelkich prac politechnicznych w oparciu o tradycyjne oraz nowoczesne technologie (CAD/CAM, CNC, druk 3D itp.). Pracownia powinna dysponować również własnym zapleczem wyposażonym w demonstratory oraz pomoce naukowe pozwalające na przeprowadzenie naukowych pokazów i spektakli z zakresu nauk przyrodniczych.

Harmonograf, którego budową się zajmiemy, należy do tych konstrukcji, w których element rysujący jest nieruchomy natomiast porusza się platforma, na której powstają krzywe geometryczne. Na wsporniku pionowym, przymocowanym stabilnie do powierzchni np. stołu zawieszona jest na czterech linkach platforma harmonografu. Platforma jest odpowiednio obciążona, aby wykorzystać bezwładność do jak najdłuższej pracy przyrządu. Na poziomym wysięgniku zamocowany jest pisak. Pisak dopasowany jest do tulei, w której może minimalnie poruszać się w osi pionowej w górę i w dół. Pozwala to dopasować element rysujący do zmieniającej położenie platformy z przypiętą do niej kartką papieru.

---

## **Przybory, narzędzia, obrabiarki**

frezarka trzyosiowa CNC 3D, drukarka filamentowa 3D, piła do drewna, wkrętak, wiertarka stołowa, wiertarka ręczna, wiertło śr. 1.4, 2.0, 3.0, 4.0 i 6.5 mm oraz wiertło stożkowe do fazowania otworów, nożyczki, nóż introligatorski, ołówek, linijka, pistolet do kleju na gorąco (z zapasem kleju), pilnik płaski, kostka do szlifowania nr 100.

---

## **Materiały (komplet na jeden zestaw)**

- listwa drewniana 20 x 20 mm, długość docelowa 400 mm,
  - listwa drewniana 10 x 20 mm, długość docelowa 190 mm,
  - płyta MDF o grubości 10 mm, format 150 x 150 mm,
  - płyta HDF o grubości 3 mm, format 210 x 300 mm,
  - pręt polipropylenowy o średnicy 5 mm, długość docelowa 196 mm,
  - pręt drewniany o średnicy 6 mm, długość docelowa 300 mm - 1 sztuka,
  - elementy wykonane w technologii druku 3D - imak statywu, uchwyt wahadła, uchwyt pisaka,
  - śruba M6/50 z nakrętką,
  - linka syntetyczna o grubości ~2 mm, cztery odcinki po ok. 50 cm każdy,
  - wkręt do drewna 2.5/12 - 4 sztuki,
  - wkręt do drewna 3.5/20,
  - komplet flamastrów lub pisaków o średnicy obsadki max. 7 mm.
- 

## Prace przygotowawcze

- projekty elementów w środowisku CAD (imak statywu, uchwyt wahadła i pisaka),
  - druk próbny elementów,
  - testowanie na modelu prototypowym i ewentualne korekty,
  - druk skorygowanych elementów modelu.
- 

## Zajęcia warsztatowe, montaż

- przycinanie listew drewnianych 20 x 20 mm do długości 400 mm (kolumna statywu) oraz 10 x 20 mm do długości 190 mm (ramię wspornika);
- zaznaczanie w ramieniu wspornika otworów montażowych;
- wiercenie otworów w zaznaczonych miejscach;
- łączenie ramienia wspornika z kolumną przy pomocy dwóch wkrętów 2.5/12;
- montowanie uchwyty wahadła na końcu ramienia wspornika dwoma wkrętami 2.5/12;

- montowanie statywu w imaku, stabilizowanie kolumny w gnieździe montażowym imaka (kwadratowy otwór 20 x 20 mm) przy pomocy wkręta do drewna 3.5/20;
  - wiercenie w kolumnie statywu otworu do mocowania wspornika pisaka wykonanego z polipropylenowego pręta o średnicy 5 mm i długości 19,5 cm - w odległości 50 mm od końca kolumny (25 mm licząc od krawędzi imaka);
  - montowanie pręta wspornika w otworze montażowym uchwytu pisaka (element wykonany w technologii druku 3D);
  - przygotowanie platformy wahadła (płyta HDF 3mm formatu 210 x 300 mm) - wiercenie otworów (3 mm) w narożnikach, w odległości 5 mm od każdego boku, przyklejanie od spodu płyty HDF kwadratowej płytki wykonanej z płyty MDF o grubości 10 mm, centralnie względem platformy;
  - wiązanie linek platformy wahadła - do każdego otworu przywiązane są linki tworzące zawieszenie platformy, długość każdego z dwóch odcinków łączących otwory na końcach dłuższego boku wynosi 85 cm, czyli 42,5 cm na jeden odcinek;
  - mocowanie linek w szczelinach uchwytu znajdującego się na końcu ramienia statywu;
  - testowanie i uruchamianie zmontowanego modelu;
  - komentarze i dyskusja w grupie zajęciowej, omawianie realizowanego modelu i problemów technicznych napotkanych podczas pracy.
- 

## EKSPRYMENTUJEMY

Platforma, tak jak każde wahadło, może poruszać się wzdłuż osi poziomej lub pionowej, może też składać obydwie ruchy tworząc figury. Po zamocowaniu na platformie arkusza papieru formatu A4 i umieszczeniu pisaka w uchwycie, można wprawić wahadło w ruch. Pisak zamieni ruch platformy w graficzny zapis.

Wahadło z platformą harmonografu należy wprawić w ruch w taki sposób, żeby wykonywało ono drgania w dwóch płaszczyznach. Umieszczona na platformie kartka papieru przesuwana względem umieszczonego na wsporniku pisaka, który narysuje na papierze tor ruchu wypadkowego, złożonego z dwóch ruchów drgających prostych. W zależności od kierunków przyłożenia sił, wyprowadzających wahadła/platformy z równowagi, tor będzie obrazem ruchów drgających prostych, prostopadłych do siebie, lub krzywych Lissajous. Zmieniając kolor pisaka, można stworzyć bardzo ciekawe kompozycje graficzne, których autorem jest... fizyka.

---

*Do wygenerowania dokumentu użyto ustawienia 100% wielkości czcionki podstawowej: 12pt  
Można to zmienić w opcji Ustawienia.*

*(C) 2025 ArsScientia*