

SCENARIUSZ LEKCJI

Pierwszy własny model do druku 3D

Druk 3D

Klasy VII i VIII

45 minut

Lekcja otwarta

Uczeń projektuje prosty przedmiot użytkowy mieszczący się w ograniczeniach druku warstwowego i oddaje plik gotowy do wydruku razem z odczytanym czasem druku.

Czego uczy ta lekcja

Projekt przedmiotu pod ograniczenia druku warstwowego

Projektujesz prosty przedmiot użytkowy z podanymi wymiarami i sam sprawdzasz, czy da się go wydrukować bez podpór i czy się nie złamie.

Przygotowanie pliku do druku i bezpieczna praca przy drukarce

Eksportujesz model do pliku, wczytujesz go do programu tnącego, odczytujesz czas druku i wiesz, czego przy pracującej drukarce nie wolno dotykać.

Potrzebny sprzęt

laptopy szkolne z przeglądarką, po jednym na parę uczniów, projektor lub monitor do pokazu, jedna szkolna drukarka 3D z filamentem PLA ustawiona tak, żeby dało się ją obejrzeć z odległości bez dotykania, na stanowisku nauczyciela zainstalowany darmowy program do cięcia modelu, czyli PrusaSlicer albo Ultimaker Cura, pendrive lub karta pamięci do przeniesienia pliku na drukarkę, dwa wcześniej wydrukowane przedmioty do pokazania na starcie: jeden udany i jeden nieudany, linijka na każdą parę, kratkowany papier i ołówki jako zapas. Edytor 3D: darmowy Tinkercad w przeglądarce, przy czym uczniowie nie zakładają własnych kont ani nie podają adresów, bo to nauczyciel tworzy klasę i wydaje kod dostępu, a uczeń wchodzi kodem i pseudonimem. Wariant zapasowy na wypadek, gdy szkolna sieć blokuje usługi zewnętrzne albo gdy klasa nie wejdzie na stronę: darmowy FreeCAD zainstalowany wcześniej na laptopach, a przy prostych bryłach z otworami równie dobrze sprawdza się lżejszy OpenSCAD. Oba działają bez internetu i bez konta, tak samo jak program tnący, więc pełna ścieżka od modelu do pliku da się przejść w całości offline

Podstawa programowa

Informatyka, Szkoła podstawowa, klasy VII i VIII

Cele kształcenia, wymagania ogólne

- II. Programowanie i rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem komputera oraz innych urządzeń cyfrowych: układanie i programowanie algorytmów, organizowanie, wyszukiwanie i udostępnianie informacji, posługiwanie się aplikacjami komputerowymi.
- III. Posługiwanie się komputerem, urządzeniami cyfrowymi i sieciami komputerowymi, w tym znajomość zasad działania urządzeń cyfrowych i sieci komputerowych oraz wykonywania obliczeń i programów.
- V. Przestrzeganie prawa i zasad bezpieczeństwa. Respektowanie prywatności informacji i ochrony danych, praw własności intelektualnej, etykiety w komunikacji i norm współżycia społecznego, ocena zagrożeń związanych z technologią i ich uwzględnienie dla bezpieczeństwa swojego i innych.

Treści nauczania, wymagania szczegółowe

- II.4. zapisuje efekty swojej pracy w różnych formatach i przygotowuje wydruki; (Dopasowanie częściowe. Punkt mówi o zapisywaniu efektów pracy w różnych formatach i o przygotowaniu wydruków, co obejmuje eksport modelu do pliku STL i przygotowanie go w programie tnącym. Podstawa ma tu na myśli wydruki dokumentów, nie druk przestrzenny, więc słowo wydruk pokrywa się z lekcją tylko w sensie ogólnym.)
- III.2. rozwija umiejętności korzystania z różnych urządzeń do tworzenia elektronicznych wersji tekstów, obrazów, dźwięków, filmów i animacji; (Dopasowanie częściowe. Punkt dotyczy korzystania z różnych urządzeń do tworzenia elektronicznych wersji obrazów i innych plików, co uzasadnia pracę w edytorze 3D i z drukarką jako urządzeniem cyfrowym. Nie wymienia drukarki 3D ani modelowania przestrzennego.)
- III.3. poprawnie posługuje się terminologią związaną z informatyką i technologią. (Dopasowanie częściowe: poprawne posługiwanie się terminologią, uzasadnia wprowadzenie pojęć warstwa, nawis, podpora, wypełnienie, plik STL i program tnący.)
- IV.1. bierze udział w różnych formach współpracy, jak: programowanie w parach lub w zespole, realizacja projektów, uczestnictwo w zorganizowanej grupie uczących się, projektuje, tworzy i prezentuje efekty wspólnej pracy; (Pełne pokrycie wątku pracy w parach: para projektuje przedmiot, mierzy, eksportuje plik i prezentuje klasie podgląd warstw.)

ODNIESIENIE DO SZKOŁY PONADPODSTAWOWEJ, ZAKRES PODSTAWOWY

Ta sama lekcja w liceum lub technikum realizuje poniższe wymagania, Dz.U. 2018 poz. 467.

II.3. przygotowuje opracowania rozwiązań problemów, posługując się wybranymi aplikacjami: a) projektuje modele dwuwymiarowe i trójwymiarowe, tworzy i edytuje projekty w grafice rastrowej i wektorowej, wykorzystuje różne formaty obrazów, przekształca pliki graficzne, uwzględniając wielkość i jakość obrazów, b) opracowuje dokumenty o różnorodnej tematyce, w tym informatycznej, i o rozbudowanej strukturze, dzieli tekst na sekcje i kolumny, tworzy spisy treści, rysunków i tabel, pracuje nad dokumentem w trybie recenzji, definiuje korespondencję seryjną, c) gromadzi dane pochodzące z różnych źródeł w tabeli arkusza kalkulacyjnego, korzysta z różnorodnych funkcji arkusza w zależności od rodzaju danych, filtruje dane według kilku kryteriów, dobiera odpowiednie wykresy do zaprezentowania danych, analizuje dane, korzystając z dodatkowych narzędzi, w tym z tabel i wykresów przestawnych, d) wyszukuje informacje, korzystając z bazy danych opartej na co najmniej dwóch tabelach, definiuje relacje, stosuje filtrowanie, formułuje kwerendy, e) tworzy prezentacje, w tym z wykorzystaniem technik multimedialnych, f) tworzy stronę internetową zgodnie ze standardami, wzbogaconą tabelami, listami, posługuje się arkuszem stylów, korzysta z oprogramowania i serwisów przeznaczonych do tworzenia stron; potrafi opublikować własną stronę w Internecie; (Do wykorzystania, gdy lekcję prowadzimy w liceum lub technikum. Właściwy jest podpunkt lit. a: projektuje modele dwuwymiarowe i trójwymiarowe.)

Podstawa prawna: Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, w tym dla uczniów z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu umiarkowanym lub znacznym, kształcenia ogólnego dla branżowej szkoły I stopnia, kształcenia ogólnego dla szkoły specjalnej przysposabiającej do pracy oraz kształcenia ogólnego dla szkoły policealnej, Dz.U. 2017 poz. 356.

Brzmienie: Załącznik nr 2 do Dz.U. 2017 poz. 356 w brzmieniu nadanym przez Dz.U. 2024 poz. 996, część KLASY VII i VIII

Lista kontrolna przed lekcją

Do odhaczenia dzień wcześniej i 10 minut przed dzwonkiem.

- ☐ Dzień wcześniej: załóżcie klasę w Tinkercadzie, wygenerujcie kod dostępu i wpiszcie na listę pseudonimy uczniów, potem wejdźcie tym kodem z jednego laptopa szkolnego, żeby sprawdzić, czy szkolna sieć nie blokuje strony. Jeśli blokuje, zainstalujcie FreeCAD albo OpenSCAD na wszystkich laptopach i uruchomcie każdy raz.
- ☐ Dzień wcześniej: zainstalujcie PrusaSlicer albo Ultimaker Cura na stanowisku nauczyciela, dodajcie w nim profil Waszego modelu drukarki i potnijcie próbny plik STL, żeby zobaczyć, gdzie program pokazuje czas druku i zużycie filamentu.
- ☐ Dzień wcześniej: wydrukujcie dwa przedmioty do pokazu, jeden udany i jeden celowo nieudany, na przykład zawieszkę z haczykiem 0,8 mm postawioną na sztorc, żeby pęknął

wzdłuż warstw, albo podstawkę z poziomym daszkiem bez podpór, żeby obwisł.

- ☐ Dzień wcześniej: sprawdźcie, że na szpuli jest filament PLA w ilości wystarczającej na klasę, orientacyjnie co najmniej 100 g na 15 małych modeli, i że szpula jest sucha i bez splątania. Wydrukujcie karty pracy, po jednej na parę, i przygotujcie linijkę na każdą parę.
- ☐ Dzień wcześniej: ustalcie, kto stoi przy drukarce podczas pokazu i kto uruchamia druk po lekcji. To zawsze osoba dorosła, nauczyciel albo opiekun pracowni, nigdy uczeń dyżurny. Uczniowie oglądają maszynę zza linii na podłodze.
- ☐ 10 minut przed lekcją: włączcie drukarkę i sprawdźcie, czy stoi na stabilnym stole, z dala od krawędzi i od miejsca, przez które przechodzi klasa. Naklejcie na podłogę taśmą linię w odległości około metra od maszyny, za którą uczniowie oglądają druk.
- ☐ 10 minut przed lekcją: otwórzcie okno albo włączcie wentylację w sali. PLA przy druku pachnie słabo i jest uważany za bezpieczniejszy od innych filamentów, ale każdy druk daje drobne cząstki i sala z pracującą drukarką ma być przewietrzana, a maszyna nie stoi tuż przy ławkach uczniów.
- ☐ 10 minut przed lekcją: włączcie projektor, otwórzcie edytor 3D i program tnący, wsadźcie pendrive do stanowiska nauczyciela i załóżcie na nim folder z nazwą klasy na pliki STL. Wypiszcie na tablicy cztery ograniczenia: 60 na 60 na 20 mm, ścianka od 2 mm, otwór od 4 mm, nawis do 45 stopni.

Rozgrzewka na start

BEZ SPRZĘTU, 3 MIN

Bez laptopów, na starcie, w ramach pięciu minut etapu Wejście. Puśćcie w obieg udany i nieudany wydruk i zadajcie jedno pytanie: z czego ta rzecz jest zbudowana i jak to poznać po samym dotyku? Każda para ma 60 sekund, żeby przejechać paznokciem po bocznej ścianie przedmiotu i powiedzieć jedno zdanie.

Czego się spodziewać: Uczniowie wyczuwają prążki na bocznej ścianie i mówią, że przedmiot składa się z pasków albo warstw ułożonych jedna na drugiej. Ktoś zauważa, że nieudany wydruk pękł równo wzdłuż takiej linii. Jeśli padnie słowo warstwa, macie punkt wyjścia do całej lekcji, jeśli nie padnie, podpowiedzcie je przy pierwszym slajdzie.

Przebieg lekcji

Pięć etapów, razem 45 minut.

1**Wejście, 5 min**

Nauczyciel kładzie na ławce dwa wydrukowane wcześniej przedmioty: jeden udany i jeden nieudany, na przykład zawieszkę z urwanym haczykiem albo podstawkę z obwisłym nawisem. Puszczą je w obieg i pyta, dlaczego drugi wyszedł źle. Zbiera trzy hipotezy i zapisuje je w rogu tablicy, żeby wrócić do nich na koniec. Od razu ustawia realia lekcji i mówi je wprost: w sali jest jedna drukarka na całą klasę, a wydruk nawet małego przedmiotu trwa dłużej niż lekcja, więc dzisiaj wszyscy kończą na pliku gotowym do druku, a same wydruki powstaną po zajęciach, jeden po drugim.

2**Pokaz, 10 min**

Nauczyciel na projektorze otwiera edytor 3D i od razu mówi klasie, w którym wariantcie pracujecie: w przeglądarce, gdzie uczniowie wchodzi kodem klasy i pseudonimem bez zakładania własnych kont, albo w programie zainstalowanym na laptopach, jeśli szkolna sieć blokuje usługi zewnętrzne. Buduje od zera prostą zawieszkę: bryła 40 na 20 na 4 mm, otwór o średnicy 5 mm przy krawędzi, zaokrąglony róg. Nazywa na głos trzy ograniczenia druku: warstwa ma zwykle 0,2 mm, więc przedmiot powstaje jako stos warstw i najłatwiej pęka wzdłuż tych warstw; ścianka cieńsza niż 2 mm w szkolnym wydruku łamie się w palcach; nawis odchylony od pionu bardziej niż o 45 stopni trzeba podeprzeć, a podpory wydłużają druk i zostawiają ślad na powierzchni. Potem eksportuje model do pliku STL, otwiera go w programie tnącym, pokazuje podgląd warstw, miejsce z podporami oraz dwie liczby, które uczniowie mają dziś odczytać: przewidywany czas druku i zużycie filamentu. Na koniec podchodzi z klasą do drukarki, ale nikt jej nie dotyka. Nauczyciel wskazuje dyszę, która przy filamencie PLA nagrzewa się do około 200 stopni Celsjusza, oraz stół grzejący do około 60 stopni, i ustala zasadę obowiązującą do końca roku: przy pracującej drukarce nie sięgamy do środka, nie dotykamy dyszy ani stołu, nie przesuwamy głowicy ręką, a gotowy wydruk zdejmujemy nauczyciel po ostygnięciu.

3**Praca uczniów, 20 min**

Uczniowie pracują w parach na jednym laptopie i wybierają jeden z trzech przedmiotów: zawieszkę do plecaka z otworem na karabińczyk, uchwyt na kabel przyklejany do blatu albo podstawkę pod telefon. Obowiązują cztery ograniczenia zapisane na tablicy: cały przedmiot mieści się w pudełku 60 na 60 na 20 mm, żadna ścianka nie jest cieńsza niż 2 mm, otwory mają co najmniej 4 mm średnicy, a nawisy nie przekraczają 45 stopni, więc model ma się wydrukować bez podpór. Para mierzy linijką to, co przedmiot ma obsłużyć, na przykład grubość blatu albo szerokość kabla, i zapisuje wymiar w karcie pracy, zanim zacznie rysować. Gotowy model eksportuje do pliku STL o nazwie złożonej z nazwy klasy i nazwisk pary, wgrywa go na stanowisko z programem tnącym i odczytuje czas druku oraz zużycie filamentu. Jeśli czas przekracza 30 minut, para zmniejsza wypełnienie albo rozmiar przedmiotu i zapisuje obie wartości, przed zmianą i po zmianie. Nauczyciel chodzi po sali i pilnuje głównie dwóch rzeczy: żeby nikt nie projektował przedmiotu większego niż podane pudełko 60 na 60 na 20 mm i żeby każda para faktycznie odczytała czas druku, a nie zgadywała.

4

Sprawdzenie, 5 min

Trzy pary pokazują klasie podgląd warstw swojego modelu i odpowiadają na dwa pytania: w którym miejscu ten przedmiot pęknie najszybciej i czy program tnący dodał podpory. Nauczyciel zbiera wszystkie pliki STL do jednego folderu na stanowisku nauczyciela, sprawdza na szybko, czy nazwy plików są czytelne, i ustala kolejność drukowania, zaczynając od modeli o najkrótszym czasie, żeby na kolejnej lekcji gotowych wydruków było jak najwięcej.

5

Podsumowanie, 5 min

Nauczyciel wraca do trzech hipotez z początku lekcji i pyta, które okazały się trafne po tym, co klasa zobaczyła w podglądzie warstw. Formułuje wniosek: drukarka nie wykonuje tego, co wygląda ładnie na ekranie, tylko to, co da się ułożyć warstwa po warstwie na stole, dlatego wymiary i nawisy planuje się przed rysowaniem, a nie po nieudanym wydruku. Powtarza dwie rzeczy organizacyjne: wydruki ruszają po lekcji i jedna drukarka drukuje modele kolejno, więc wyniki będą pojawiały się przez kilka dni, oraz przy pracującej maszynie nikt niczego nie dotyka. Zapowiada, że na kolejnej lekcji klasa obejrzy własne wydruki, porówna je z projektem na ekranie i policzy, co faktycznie wyszło w wymiarze.

Do powiedzenia na głos

„Drukarka nie robi tego, co narysowaliście. Robi to, co da się ułożyć warstwa po warstwie, od stołu do góry.”

„Dzisiaj nikt nie wychodzi z wydrukiem. Wychodziecie z plikiem i z odczytanym czasem druku, bo druk trwa dłużej niż nasza lekcja.”

„Ścianka cieńsza niż 2 mm złamie się wam w palcach po dwóch dniach w plecaku. Sprawdźcie grubość, zanim wyeksportujecie plik.”

„Dysza ma około 200 stopni, stół około 60. Przy pracującej drukarce nie sięgamy do środka i nie dotykamy niczego, wydruk zdejmuję ją, gdy ostygnie.”

Typowe błędy uczniów i co z nimi zrobić

- Uczniowie podchodzą do pracującej drukarki, żeby zobaczyć z bliska albo poprawić palcem odklejający się róg wydruku. Ustalcie zasadę przed pierwszym uruchomieniem maszyny: dysza ma około 200 stopni Celsjusza, stół około 60, więc do środka nie sięga nikt, a wydruk zdejmuje nauczyciel po ostygnięciu. Wyznaczcie na podłodze linię, za

którą klasa ogląda pracę drukarki.

- Uczniowie projektują przedmiot, który wygląda dobrze na ekranie, ale ma ściankę o grubości pół milimetra albo cienki haczyk. Wymagajcie zmierzenia grubości w programie przed eksportem i trzymajcie próg 2 mm. Pomaga pokazanie złamanego wydruku z pierwszego etapu lekcji.
- Uczniowie nie mierzą niczego linijką i projektują otwór na oko, więc karabińczyk albo kabel się nie mieści. Wprowadźcie kolejność: najpierw pomiar i zapis wymiaru w karcie pracy, potem rysowanie, a do wymiaru otworu zawsze dodajcie około 0,5 mm luzu.
- Uczniowie robią model wielkości pudełka po butach i cieszą się efektem, a program tnący pokazuje kilkanaście godzin druku. Trzymajcie limit 60 na 60 na 20 mm i próg 30 minut druku, a przekroczenie traktujcie jako zadanie do poprawy, nie jako porażkę.
- Uczniowie kończą na ładnym modelu i nie eksportują pliku ani nie odczytują czasu druku, więc z lekcji nie zostaje nic do wydrukowania. Wynikiem lekcji jest plik STL w folderze klasy plus dwie liczby w karcie pracy, i tak to zapowiedzcie na starcie.

Warianty lekcji

Bez sprzętu i internetu

Klasa projektuje ten sam przedmiot na kratkowanym papierze i składa go z warstw. Każda para rysuje przedmiot z trzech stron w skali 1 do 1, a potem wycina z papieru kolejne przekroje poziome, po jednym na każde 5 mm wysokości, i skleja je jeden na drugim. Ten stos zachowuje się dokładnie tak jak wydruk: gdy kolejna warstwa wystaje poza poprzednią o więcej niż wynosi jej wysokość, czyli tu o więcej niż 5 mm, nie ma się na czym oprzeć i opada. To jest dokładnie zasada 45 stopni przeniesiona na papier, więc widać, gdzie potrzebne byłyby podpory. Na koniec pary liczą przybliżony czas druku z prostego założenia zapisanego na tablicy, na przykład jedna warstwa to jedna minuta, i porównują, który projekt byłby najszybszy. Wniosek jest ten sam co przy drukarce: kształt trzeba zaplanować pod sposób powstawania przedmiotu, a nie odwrotnie.

Dla szybszych uczniów

Para projektuje przedmiot z dwóch części, które mają do siebie pasować, na przykład pudełko i wsuwane wieczko albo uchwyt i zatyczkę. Musi samodzielnie dobrać luz między częściami, zwykle od 0,2 do 0,5 mm, i opisać w dwóch zdaniach, co się stanie przy luzie zerowym, a co przy luzie 2 mm. Dodatkowo para porównuje w programie tnącym czas druku tego samego modelu ustawionego na stole na dwa sposoby, płasko i na sztorc, i zapisuje, które ustawienie jest szybsze oraz przy którym przedmiot będzie wytrzymałszy.

Przy trudnościach

Uczeń dostaje od nauczyciela gotowy model zawieszki z jednym otworem i zmienia w nim tylko dwie rzeczy: długość oraz średnicę otworu, tak żeby pasował do jego własnego karabińczyka albo sznurka zmierzonego linijką. Nie projektuje bryły od zera. Wypełnia trzy pierwsze zadania karty pracy zamiast pięciu, a przy ocenie nawisów korzysta z gotowej listy podpowiedzi: ścianka pionowa jest bezpieczna, dach pochylony łagodnie jest bezpieczny, półka stercząca w bok wymaga podpory.

Kryteria oceny

Trzy poziomy dla każdej umiejętności. Opis mówi, co uczeń pokazuje, a nie ile punktów dostaje.

UMIĘJĘTNOŚĆ	PODSTAWOWY	DOBRY	BARDZO DOBRY
Projekt przedmiotu pod ograniczenia druku warstwowego	Uczeń projektuje z pomocą gotowego modelu albo nauczyciela przedmiot mieszczący się w limicie 60 na 60 na 20 mm, wpisuje w karcie pracy wymiar z pomiaru linijką i poprawnie odpowiada, że ścianka poniżej 2 mm pęka, nawet jeśli w modelu takie miejsce zostało.	Uczeń samodzielnie projektuje jeden z trzech przedmiotów od zera, wszystkie ścianki mają co najmniej 2 mm, otwór ma wymiar z pomiaru plus luz około 0,5 mm, a w karcie pracy wskazuje miejsce z nawisem i proponuje, jak je zmienić.	Uczeń projektuje przedmiot, który program tnący przyjmuje bez podpór za pierwszym razem, sam decyduje o ustawieniu modelu na stole ze względu na kierunek obciążenia, na przykład zawieszka płasko, żeby haczyk nie pękł wzdłuż warstw, i potrafi to uzasadnić przy podglądzie warstw na forum klasy.

UMIĘTNOŚĆ	PODSTAWOWY	DOBRY	BARDZO DOBRY
Przygotowanie pliku do druku i bezpieczna praca przy drukarce	Uczeń z pomocą nauczyciela eksportuje model do pliku STL, wczytuje go do programu tnącego i odczytuje czas druku, a zapytany o drukarkę mówi, że dysza i stół są gorące i że nie wolno sięgać do środka.	Uczeń samodzielnie eksportuje plik STL pod poprawną nazwą do folderu klasy, odczytuje czas druku i zużycie filamentu, a przy czasie powyżej 30 minut zmniejsza wypełnienie albo rozmiar i zapisuje obie wartości. Wymienia bez podpowiedzi zasady przy pracującej drukarce, w tym to, że wydruk zdejmuje nauczyciel po ostygnięciu.	Uczeń tłumaczy różnicę między plikiem STL a wynikiem programu tnącego, przewiduje przed cięciem, która zmiana skróci druk najbardziej, sprawdza to jedną zmianą naraz i podaje jej koszt, na przykład słabszy przedmiot. W sytuacji odklejającego się rogu wydruku reaguje zgłoszeniem nauczycielowi i potrafi wyjaśnić koledze, dlaczego nie dociska go palcem.

Pytania do dyskusji

Na podsumowanie lekcji. Nie mają jednej poprawnej odpowiedzi, chodzi o uzasadnienie.

1. Gdybyście mieli w sali pięć drukarek zamiast jednej, co zmieniałoby się w tym, jak projektujecie, a co zostałyby dokładnie takie samo?
2. Który przedmiot z Waszego domu wolelibyście wydrukować, a który kupić, i po czym to rozstrzygacie: po cenie, czasie, wytrzymałości czy po tym, że nikt takiego nie sprzedaje?
3. Podpory, mniejsze wypełnienie, cieńsze ścianki: każdy skrót w druku coś kosztuje. Kiedy warto zapłacić dłuższym drukiem za mocniejszy przedmiot, a kiedy szkoda czasu maszyny?

Częste pytania uczniów

Skoro drukarka jest jedna, to kiedy zobaczę swój wydruk?

Drukowanie ruszy po lekcji i pójdzie kolejno, model po modelu. Mały przedmiot to zwykle od kilkunastu do kilkudziesięciu minut, więc cała klasa zmieści się w kilku dniach. Dlatego dziś oddajesz plik, a wydruk odbierasz na kolejnych zajęciach.

Po co komu podpory, skoro brzydko wyglądają i wydłużają druk?

Drukarka kładzie plastik na tym, co już jest pod spodem. Jeśli nad pustką ma powstać nawis odchylony od pionu bardziej niż o 45 stopni, materiał nie ma się na czym oprzeć i obwisa. Podpory są tymczasowym rusztowaniem, które potem się odłamuje. Na tej lekcji lepiej jednak zaprojektować przedmiot tak, żeby podpory nie były potrzebne.

Czy mogę zrobić model w domu i przynieść go na pendrive?

Tak, o ile przyniesiesz plik STL i zmieścisz się w tych samych ograniczeniach: 60 na 60 na 20 mm, ścianka od 2 mm, bez nawisów powyżej 45 stopni. Czas druku i tak sprawdzimy wspólnie w programie tnącym, bo to on decyduje, czy model wchodzi do kolejki.

Mini projekt na kolejne lekcje

Na 2 do 3 kolejne lekcje albo na kółko. Buduje na tym, co uczniowie zrobili na tej lekcji.

Organizer na biurko z części, które do siebie pasują

Projekt na dwie do trzech kolejnych lekcji albo na kółko. Każda para projektuje jeden moduł organizera na biurko: kubek na ołówki, tackę na spinacze, podstawkę pod telefon albo uchwyt na kabel. Moduły mają wspólny wymiar podstawy 60 na 60 mm i wspólne wypustki oraz wcięcia na bokach, tak żeby dało się je zestawić w jedną całość jak klocki. Projekt buduje na tej lekcji: te same cztery ograniczenia, ten sam próg 30 minut na moduł, ta sama kolejka do jednej drukarki. Nowe jest to, że wymiar pary musi pasować do wymiaru innej pary, więc klasa uzgadnia luz między wypustką a wcięciem i sprawdza go na pierwszym wydrukowanym module, zanim wydrukuje resztę.

1. Lekcja druga: klasa ustala wspólny standard, czyli wymiar podstawy, kształt i rozmiar wypustki oraz wcięcia, luz między nimi od 0,2 do 0,5 mm. Nauczyciel drukuje po lekcji jeden próbny moduł z wypustką i jeden z wcięciem, wybrane z najkrótszych czasów druku.
 2. Lekcja trzecia: klasa sprawdza na próbnym wydruku, czy części wchodzą w siebie, mierzy luz suwmiarką albo linijką i poprawia standard. Każda para projektuje własny moduł według poprawionego standardu, eksportuje STL i odczytuje czas druku.
 3. Między lekcjami: nauczyciel drukuje moduły w kolejce od najkrótszych, po jednym do trzech dziennie, i zapisuje przy każdym rzeczywisty czas druku obok przewidywanego.
 4. Lekcja czwarta albo kółko: klasa składa organizera, porównuje przewidywany i rzeczywisty czas druku oraz projekt z wydrukiem w wymiarze, a pary, których moduł nie pasuje, opisują w dwóch zdaniach, co poprawią w luzie albo w ustawieniu na stole.
- Co powstaje na końcu: Jeden fizyczny organizera na biurko nauczyciela albo do biblioteki, złożony z modułów całej klasy, plus tabela z przewidywanym i rzeczywistym czasem druku każdego modułu.