

Introducere în tipărirea 3D

Prezentarea unor idei complexe într-un design tangibil

Introducere	2
Tehnologia FDM	2
Terminologie	3
Termeni generali	3
Formate de fișiere	4
Imprimanta 3D	4
Modelarea CAD cu Tinkercad	5
Tema 1 de proiectare: Breloc	5
STL, Slicer și tipărire 3D	11
Margini	12
Orientare	13
Proiectare inteligentă	13
Interior și contururi	14
Problemă: Rezistența și tipărirea 3D	17
Tema 2 de proiectare: Pod peste o autostradă	18
Enunțul problemei	18
Cerințe	18
Proiectare și tipărire	19
Calculule și măsurări	19
Autoevaluare și reflecții	21
Cum să echilibrezi structura și libertatea în cadrul unui proiect	22
Ce se spune în literatură?	22
Sistemul de coordonate Oresmian	24
Bărcă	24
Catapultă	24
Titirez	25
Rezumat	25
Referințe	26
Despre tipărirea 3D, în general	26
Tehnologia în educație	26
Software CAD	26

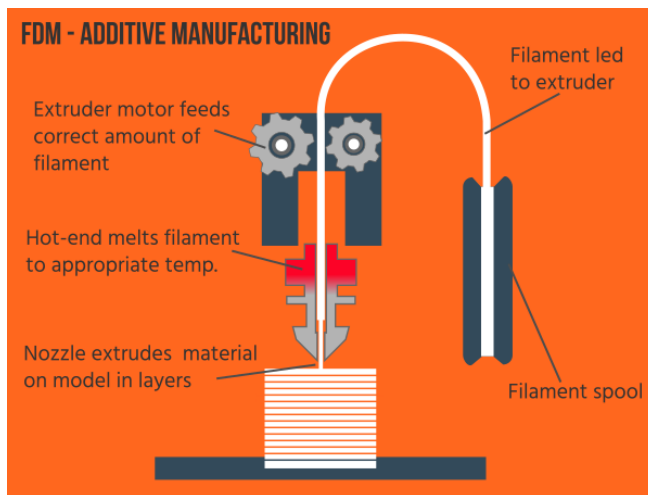
Introducere

Imprimantele 3D își creează un drum încet dar constant către sălile de clasă și instituțiile educaționale, de la școli primare la universități. Tehnologia oferă promisiuni clare de conectare a lumii virtuale cu lumea fizică prin oferirea posibilității de a vedea cum un design digital creat pe calculator devine palpabil. Cu toate acestea, drumul spre integrarea cu succes a tehnologiei în sala de clasă și transformarea tehnologiei într-un instrument omniprezent pentru toată lumea poate fi descurajant. Acest ghid este o încercare de a face această călătorie mai ușoară, pentru a ajunge la momentul în care idei importante pot fi predate cu ajutorul acestei tehnologii a secolului XXI.

Procesul de punere în funcțiune și folosire a imprimantelor 3D trebuie să implice mereu directori de școală, profesori și, bineînțeles, elevi. Acest proces este unul intensiv din punct de vedere al resurselor, indiferent de sprijinul acordat de diferite părți. Cu toate acestea, răsplata poate fi imensă. Acest manual include exemple de scenarii de învățare care au fost testate în clasă cu rezultate excelente. În timpul acestor sesiuni, elevii s-au dedicat cu adevărat acestor proiecte și au fost observate multe rezultate interesante și profunde de învățare.

Tehnologia FDM

Deși există mai multe tehnologii diferite pentru tipărirea 3D, în sălile de clasă se găsesc cu precădere imprimantele 3D FDM sau FFF. Alte sisteme, cum ar fi SLA și SLS, sunt adesea prea scumpe sau incomode pentru utilizarea în clasă. Imprimarea 3D FDM funcționează pe



baza unui principiu oarecum simplu: există un cap de tipărire în mișcare ce extrudează un plastic, construind astfel obiecte strat cu strat. Cu toate acestea, asemănător cu numeroase principii simple, specificul tipăririi 3D poate deveni complicat. În timpul utilizării acestei metode de fabricare pot apărea numeroase probleme pentru care există multiple soluții diferite. În această secțiune nu se încearcă trecerea în revistă a tuturor aspectelor tipăririi 3D FDM, deoarece aceasta este foarte extinsă. În schimb, se vor prezenta termenii cheie în tipărirea 3D

FDM și vor fi menționate alte surse de documentare pentru o documentare suplimentară a celor interesați. Comunitatea 3D de tipărire este foarte activă, ceea ce înseamnă că pot fi găsite online materiale de calitate detaliate pentru aproape orice aspect al imprimării 3D FDM.

Terminologie¹

Deoarece tipărirea 3D e un domeniu relativ nou, terminologia specifică poate fi uneori confuză și uneori contradictorie. În continuare este prezentată o listă scurtă de termeni ca bază de plecare. Lista nu e nici pe departe completă, dar resursele online vă pot fi de folos în înțelegerea termenilor care nu vă sunt familiari.

Termeni generali

- **Fabricație aditivă - Additive Manufacturing**
 - Fabricația aditivă e procesul de construire a unui obiect tridimensional, strat cu strat. Tipărirea 3D e o categorie de fabricație aditivă, deși adesea se folosesc cei doi termeni cu același înțeles.
- **Proiectarea asistată de calculator - Computer Aided Design (CAD)**
 - Proiectarea asistată de calculator se referă la acele aplicații software ce permit crearea de modele 2D sau 3D. Inițial acest tip de aplicații era special creat pentru arhitectură și industrie. Ulterior au fost dezvoltate aplicații CAD, ușor de folosit, pentru publicul larg la prețuri mici sau chiar gratis.
- **Fabricația prin depunere de filamente de material - Fused filament fabrication (FFF)**
 - E o tehnologie de fabricație aditivă ce constă în depunerea de material în straturi. FFF e asemănător cu termenul FDM (fused deposition modelling), doar că FDM e un termen comercial. În continuare se va folosi acronimul FFF.
- **Filament**
 - Reprezintă materialul folosit pentru tipărirea 3D. El are forma unui fir înfășurat de obicei pe o bobină realizat, adesea, din diferite materiale plastice.
- **Acid polilactic - Polylactic acid (PLA)**
 - E un bioplastic tare, fără miros care are un impact scăzut asupra mediului. PLA-ul e derivat din resurse regenerabile bazate pe amidon. PLA-ul se contractă foarte puțin, ceea ce-l face ideal pentru crearea de prototipuri 3D acasă.
- **Rezoluția stratului**
 - Rezoluția stratului (sau înălțimea stratului) descrie grosimea unui strat depus în timpul tipării 3D.
- **Feliere - Slicing**
 - Este procesul de convertire a unui model 3D, cum ar fi un fișier .STL, într-un fișier ce poate fi tipărit, cum ar fi un fișier G-code sau F-code. În cadrul acestui proces modelul este împărțit în “felii” (en. “slices”) astfel încât imprimanta 3D să-l poate construi strat cu strat. Câteva exemple de programe ce realizează acest proces de feliere sunt: Cura, Slic3r, Simplify 3D și aplicația REALvision, dezvoltată de compania Create it REAL. Această operație de feliere ține cont de o multitudine de parametri ai imprimantei folosite pentru tipărire (cum ar fi vitezele maxime, dimensiunea maximă de tipărire, tipul de firmware) și de o mulțime de parametri setați de utilizator pentru tipărire (cum ar fi înălțimea unui strat pe verticală, temperatura de topire a materialului, etc.).

¹ Lista a fost creată pe baza următoarelor resurse:

<https://ultimaker.com/en/resources/11720-terminology>

<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/definitive-3d-printing-glossary>

<https://all3dp.com/1/3d-printing-terms-terminology-glossary/>

Formate de fișiere

- **STL**
 - Un format de fișiere folosit la scară largă pentru modelele 3D create pentru tipărire.
- **G-code**
 - Un format de fișiere folosit pentru tipărirea modelelor 3D (după slicing).
- **F-code**
 - Format de fișiere folosit de Create it REAL pentru a obține o viteză mai mare. F-code e un format la un nivel mai scăzut decât G-code ce permite setarea unor anumite caracteristici în cadrul platformei Create it REAL

Imprimanta 3D

- **Extruder**
 - Un nume uzual pentru componentele ce controlează extrudarea filamentului.
- **Cap de tipărire (en. Print Head)**
 - Partea unei imprimante 3D în care materialul este extrudat/scos. E un ansamblu de mai multe componente, inclusiv duza, în cazul unui imprimante FFF.
- **Duza (en. Nozzle)**
 - Partea unei imprimante 3D pe unde este extrudat/scos materialul de tipărire.
- **Placa de tipărire (en. Print Bed / build plate)**
 - Suprafața plată pe care este construit/tipărit obiectul 3D.
- **Calibrarea plăcii de tipărire (en. Bed leveling/ calibrating)**
 - Calibrarea plăcii de tipărire reprezintă procesul de ajustare a poziției plăcii de tipărire față de duză astfel încât la tipărire obiectul să se lipească de placă. În funcție de modelul imprimantei, acest proces poate fi mai mult sau mai puțin automat.
- **Axele XYZ**
 - În general în tipărirea 3D se folosește un sistem de coordonate cartezian, cu axele X și Y reprezentând planul pe care este construit fiecare strat și axa Z înălțimea. Rar se folosesc sistemele Delta și cel bipolar.
- **Motoare pas cu pas**
 - Motoarele pas cu pas sunt cele mai utilizate în controlarea imprimatelor 3D. O imprimantă 3D are cel puțin 4 motoare pas cu pas: câte unul pentru fiecare axă și unul sau mai multe pentru alimentarea cu filament.
- **Controler**
 - Pentru o imprimantă 3D e necesar un circuit imprimat pentru controlul componentelor software și hardware. Create it REAL a dezvoltat și produs o placă de bază proprie, pentru controlul imprimantei. Pe piață există numeroase plăci Arduino folosite pentru tipărirea 3D.

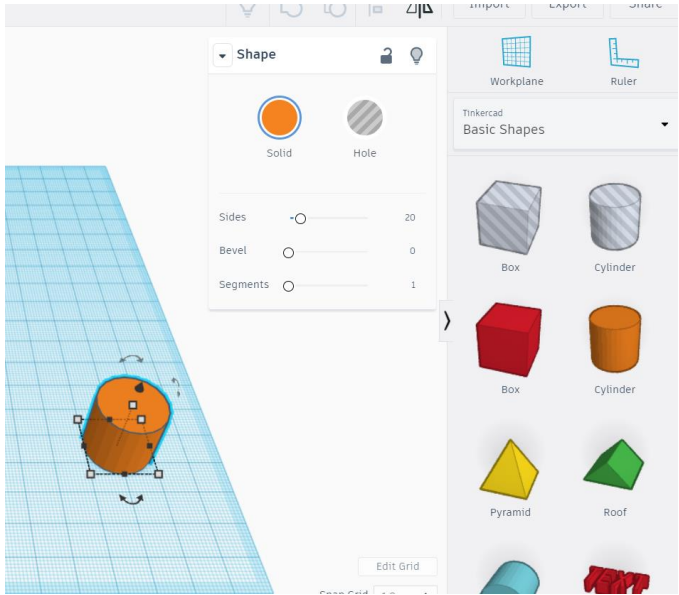
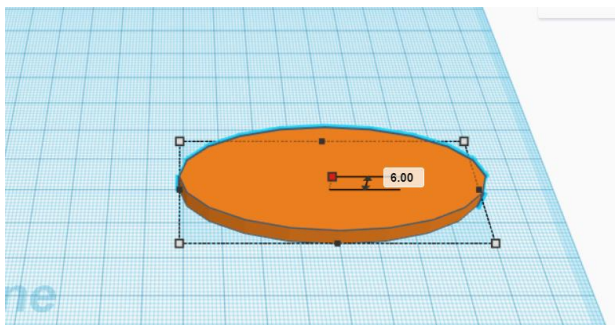
Modelarea CAD cu Tinkercad

Tinkercad e un software de modelare CAD, gratuit, online, ușor de învățat dar care poate permite crearea de modele 3D pentru tipărire destul de complexe. Tinkercad poate fi folosit și pentru crearea de obiecte potrivite pentru tăiere laser și are chiar și facilități Minecraft.

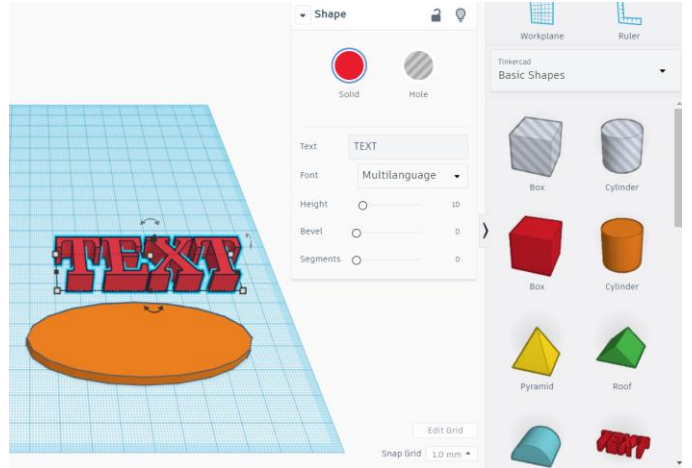
Principiile de bază din Tinkercad constau în construirea oricărei forme prin combinarea și manipularea formelor predefinite. Această tehnică este numită în literatura de specialitate CSG - Constructive solid geometry. Datorită modului de lucru *drag and drop*, aplicația poate fi utilizată și de către copii mici.

Tema 1 de proiectare: Breloc

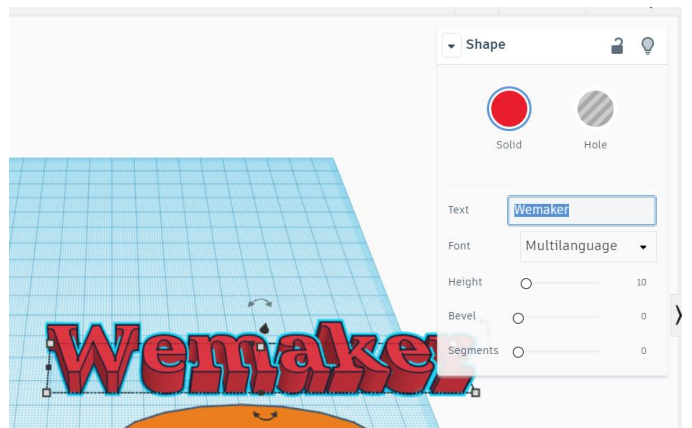
Cel mai simplu mod de familiarizare cu Tinkercad este crearea unui design simplu. În continuare sunt prezentați pașii pentru crearea unui breloc personalizat.

Pași:	
<p>Pasul 1: Trageți (<i>Drag and drop</i>) în spațiul de lucru un cilindru ca bază pentru breloc.</p>	
<p>Pasul 2: Manipulați cilindrul folosind pătrățelele albe din colțuri pentru a crea o formă plată asemănătoare celei din figură.</p>	

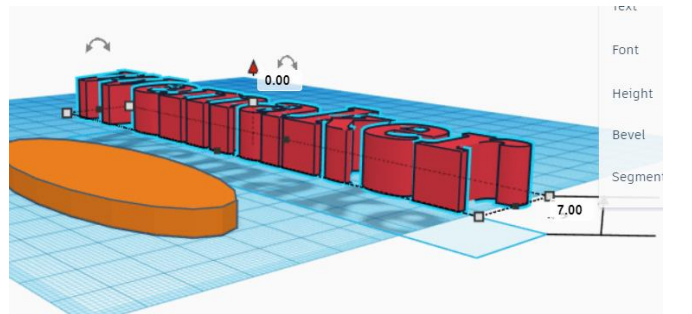
Pasul 3: Trageți pe suprafața de lucru editorul de texte.



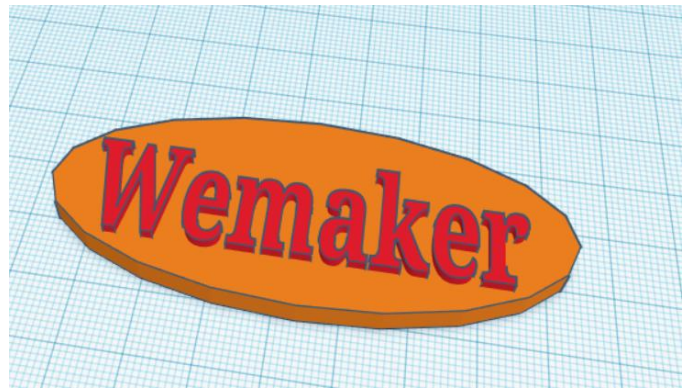
Pasul 4: Folosiți fereastra cu proprietăți a formei selectate pentru a vă scrie numele. Obiectul se va modifica corespunzător.



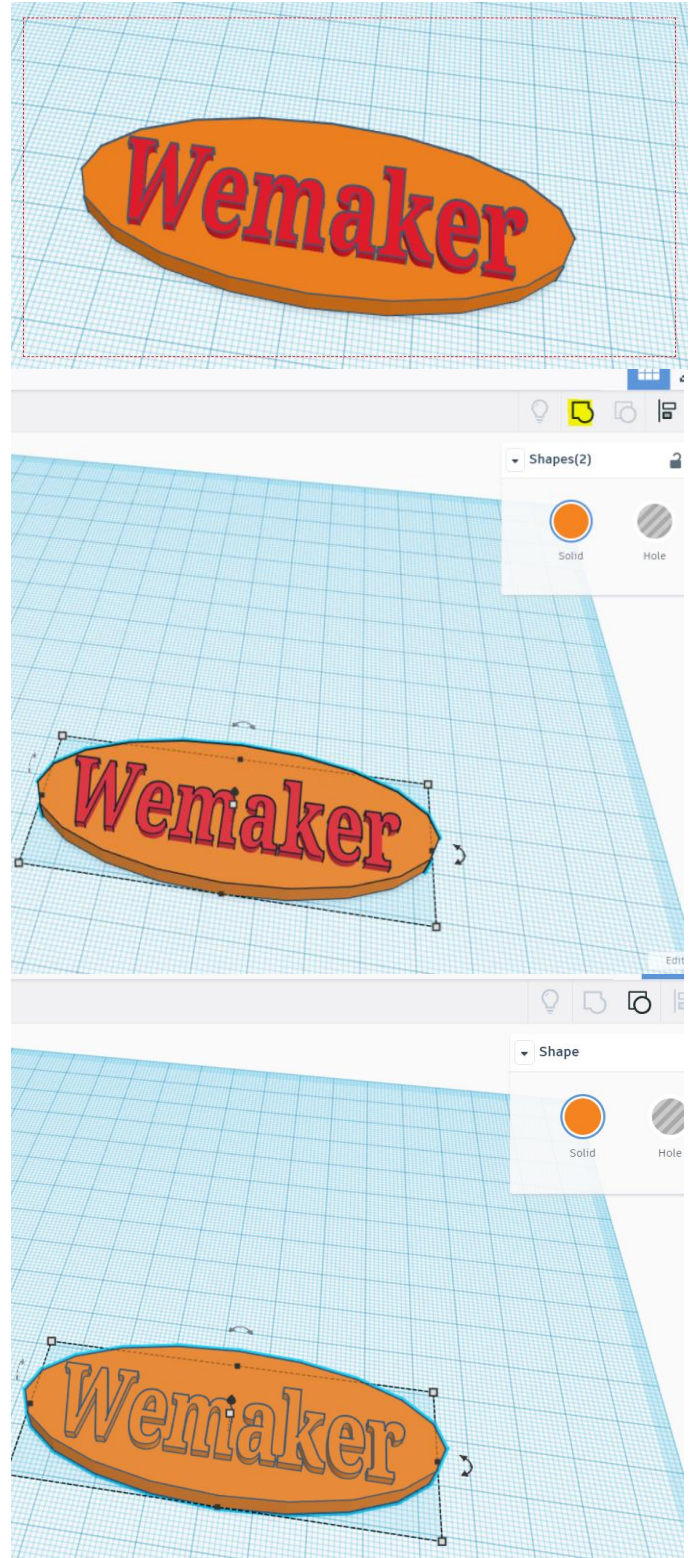
Pasul 5: Folosiți săgeata de deasupra pentru a ridica textul.



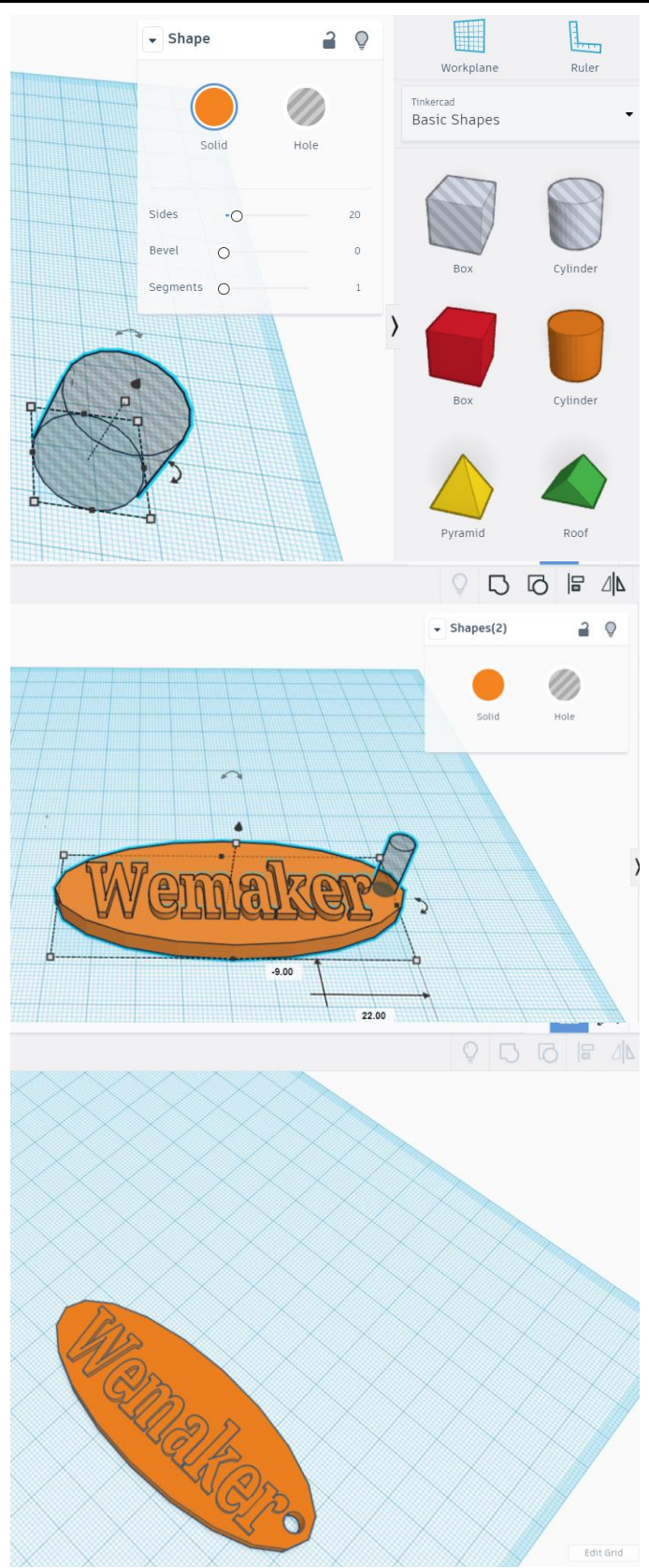
Pasul 6: Plasați textul deasupra bazei. Trageți de colțuri pentru a modifica dimensiunea acestuia astfel încât să nu depășească marginile bazei.



Pasul 7: Grupați cele două forme selectându-le pe amândouă și apăsând butonul *Group*.



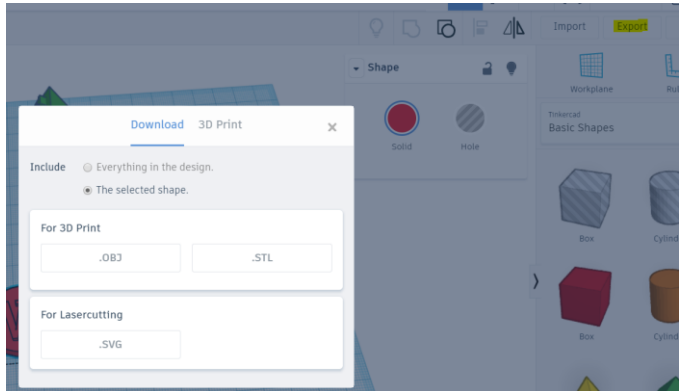
Pasul 8: Creați o gaură rotundă în breloc cu ajutorul unui cilindru. Trageți un cilindru în suprafața de lucru și din fereastra cu proprietăți selectați opțiunea *Hole*. Redimensionați cilindrul și plasați-l pe breloc acolo unde doriți. Grupați obiectele.



Pasul 9: Explorați opțiunile din Tinkercad și decorați brelocul.



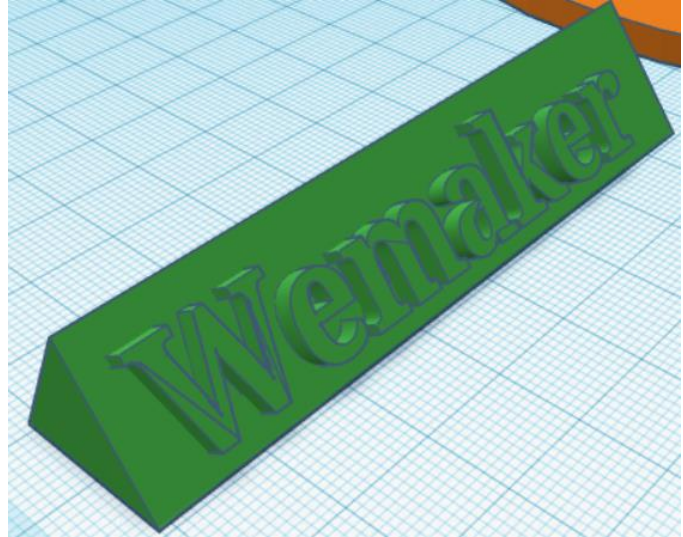
Pasul 10: Când brelocul este gata pentru tipărire, apăsați butonul *Export* din colțul din dreapta sus și exportați modelul în format *STL*. Modelul poate fi tipărit.



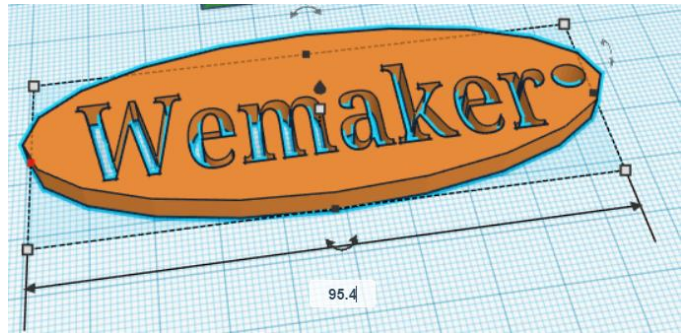
EXTRA 1: Puteți folosi opțiunea *Hole* asupra textului similar figurii. Obs: Orice formă poate fi convertită din formă solidă (*Solid*) în gaură (*Hole*).



EXTRA 2: Creați o formă asemănătoare celei din figură. Folosiți planul de lucru (*workplane*) pentru a realiza acest lucru.

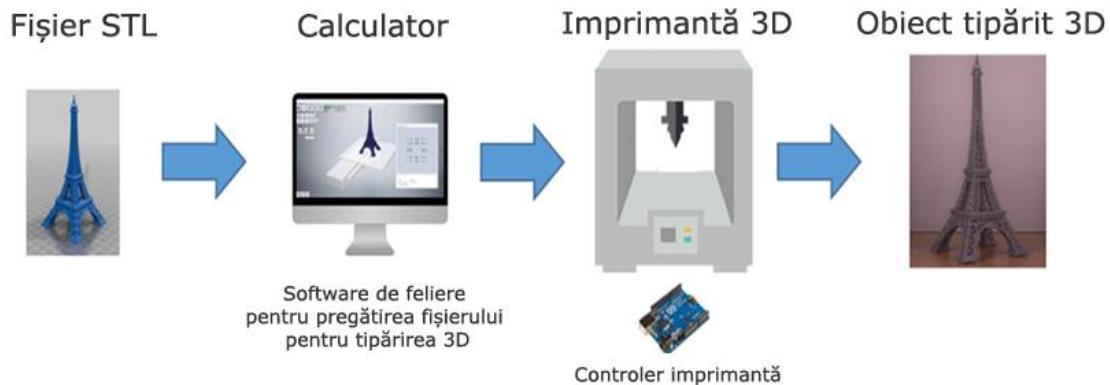


EXTRA 3: Setati Lungimea brelocului la exact 95.4mm.



STL, Slicer și tipărirea 3D

Anterior s-a menționat pe scurt despre formatul STL și procesul de *slicing* (feliere). În această secțiune sunt prezentate detalii cu privire la cei doi termeni și modul în care se obține un obiect tipărit 3D. Figura următoare prezintă pașii acestui proces.



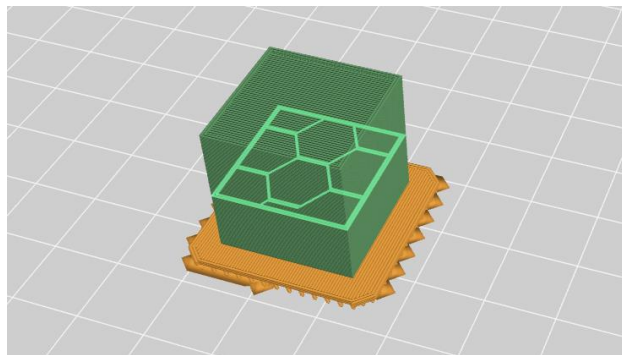
Formatul de fișier STL reprezintă doar suprafața obiectului. Majoritatea aplicațiilor de modelare 3D pot crea fișiere STL, astfel încât acest format aproape a devenit un standard în industria tipării 3D. De asemenea, există câteva site-uri web cu biblioteci vaste de fișiere STL ce pot fi descărcate gratuit. Exemple de astfel de site-uri:

<https://www.thingiverse.com/> Acest site web a fost creat de Makerbot, care ulterior a fost achiziționat de Stratesys. Siteul include o colecție amplă de modele gratuite și oricine dorește poate încărca fișiere direct pe site.

<https://www.myminifactory.com/> E un site web ce oferă modele ce au fost testate pentru tipărirea 3D. Acest lucru înseamnă că aceste modele au o calitate destul de ridicată.

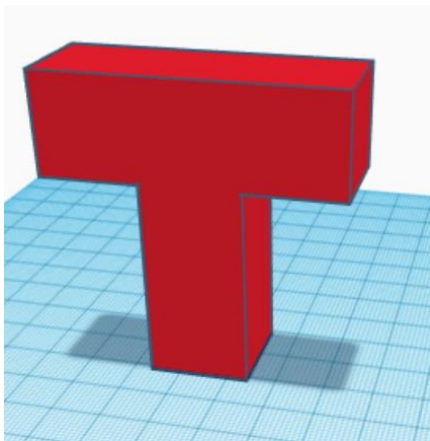
<http://www.yeggi.com/> Un site unde creatorii de modele își pot partaja modele gratuit dar pot să le și vândă.

Adesea fișierul STL este încărcat într-un software de slicing (feliere) - slicer, unde este convertit într-un format de fișiere ce are legătură cu deplasarea și extrudarea imprimantei 3D (adesea G-code sau în formatul realizat de Create it REAL, F-code). Aplicațiile de slicing, totuși, nu convertesc modelul într-un obiect 3D tipărit identic. Spre exemplu, majoritatea obiectelor tipărite 3D nu sunt pline. Aplicația de slicing transformă modelul într-un obiect care are o carcasă solidă, dar cu un interior parțial gol. În imaginea următoare este prezentat un pătrat cu interior hexagonal. Majoritatea aplicațiilor de slicing include și o serie de opțiuni de manipulare a obiectului, cum ar fi scalare, oglindire, rotire, etc.



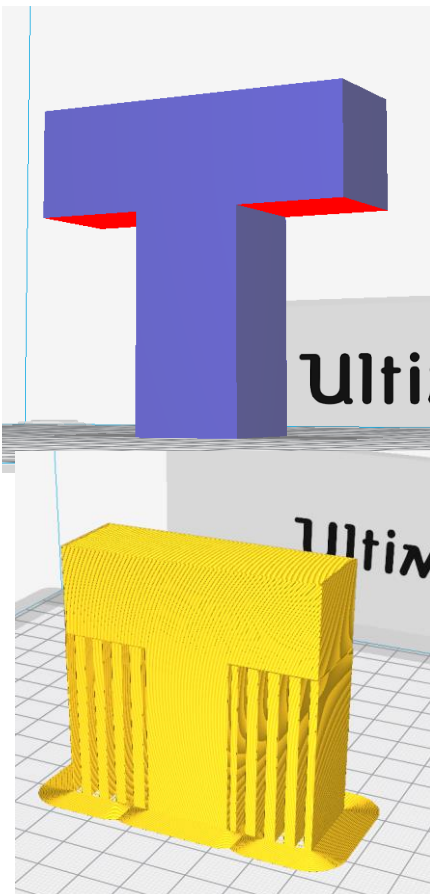
Aplicațiile de slicing includ și opțiuni avansate ce permit utilizatorului setarea specificațiilor detaliate pentru imprimantă, inclusiv cantitatea de plastic ce va fi extrudată, viteza deplasării, temperatura și multe altele. Prezentarea acestor detalii nu face parte din obiectivele acestui material. În continuare vor fi prezentate informații cu privire la interiorul modelelor (en. infill), stratul suport și stratul exterior (conturul obiectului tipărit). Dacă se dorește predarea acestor aspecte la clasă e de preferabil să se propună realizarea unei teme de proiectare și tipărire. Prezentarea unei cantități prea mari de informație referitoare la aceste detalii ar putea avea un impact negativ asupra elevilor și asupra derulării lecției. Din experiență s-a observat că e mai bine ca elevii să creeze și să tipărească un obiect și abia apoi să li se spună despre aceste detalii pe care le pot corela cu experiența pe care au avut-o.

Margini



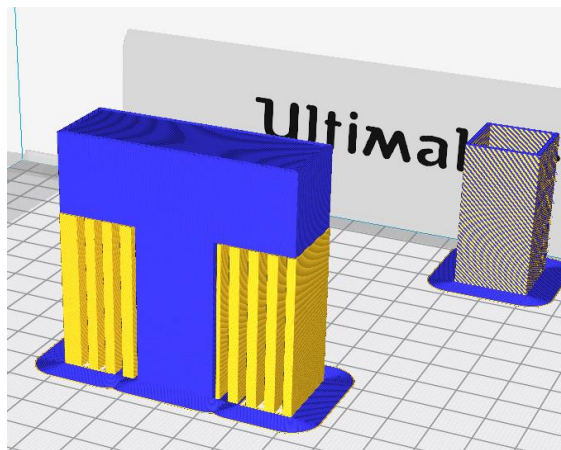
Fie obiectul din imaginea alăturată. E o formă ce seamănă cu litera T. Acesta e un exemplu de obiect 3D ce conține margini ce nu sunt sprijinite pe straturile de dedesubt. Încărcarea acestui model în Cura va avea ca rezultat ceea ce se poate observa în imaginea următoare.

Se observă că suprafețele de dedesubt care nu au suport sunt colorate cu roșu pentru a semnala că sunt problematice. Dacă se bifează opțiunea “generate support” atunci modelul e vizualizat în modul “layer view” conform figurii.



Aceasta e o vizualizare a suportului ce va fi generat. Folosirea de suporturi e o modalitate de a rezolva problema acestor margini ieșite și presupune folosirea de material suport ce poate fi eliminat după tipărirea modelului. Totuși, uneori eliminarea acestor suporturi ar putea fi dificilă, în funcție de imprimantă, filament și setările pentru suporturi.

În plus, folosirea acestor suporturi înseamnă material irosit și un timp mai mare de tipărire. Aceste aspecte pot varia de la o aplicație la alta și de la o imprimantă la alta. Unele imprimante au două capete de extrudare (opțiunea “dual extrusion”) la care un cap poate extruda materialul suport și celălalt



materialul de tipărit, spre exemplu PLA. Mai jos e o imagine cu o captură din Cura cu Ultimaker 3, în care suporturile sunt dintr-un



material solubil în apă. Asta înseamnă că după tipărire obiectul poate fi scufundat în apă și materialul suport se va dizolva în timp. Dar, cu setările recomandate de Ultimakers acest obiect necesită 9,5 ore pentru tipărire.

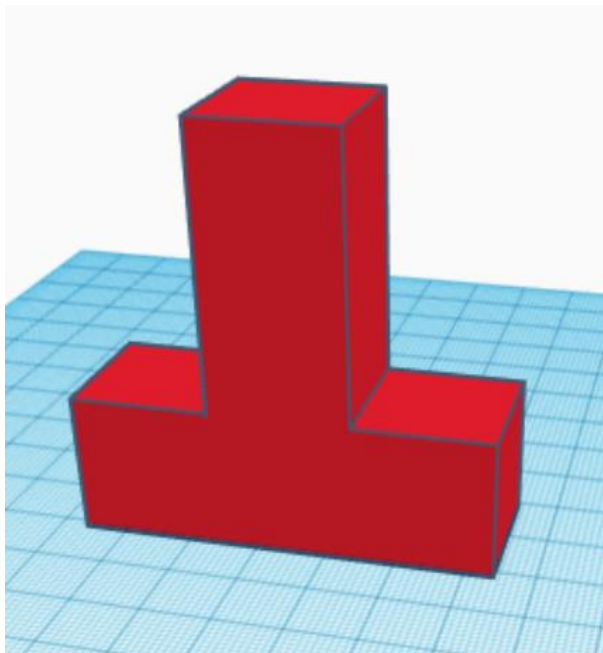
Orientare

O altă modalitate de rezolvare a problemei marginilor fără suport e de a modifica orientarea modelului. Unele modele pot fi rotite după una sau mai multe axe pentru a deveni tipăribile. De obicei o astfel de abordare e preferabilă în locul folosirii suporturilor, deoarece nu presupune folosirea de material suplimentar și necesită mai puțin timp pentru tipărire. Totuși această abordare necesită o analiză a procesului de tipărire și a metodei de fabricare. Acest lucru ar putea fi extrem de util deoarece e foarte importantă luarea în considerare a fabricației în orice proiectare a unui obiect fizic. Acest domeniu e adesea predat la universitate, deoarece e considerat unul dificil și avansat. Totuși, în tipărirea 3D el poate deveni o parte naturală a procesului de proiectare chiar realizată de către copii mici. Rotirea unui obiect poate fi realizată atât în aplicația CAD cât și în aplicația de slicing. În aplicația de slicing, efectul orientării asupra materialului utilizat și asupra timpului de tipărire poate fi observat direct. După dobândirea unei oarecare experiențe în crearea de modele și tipărirea lor, în mod natural se vor crea obiecte care să fie orientate astfel încât să minimizeze sau să elimine necesitatea folosirii de material suport.

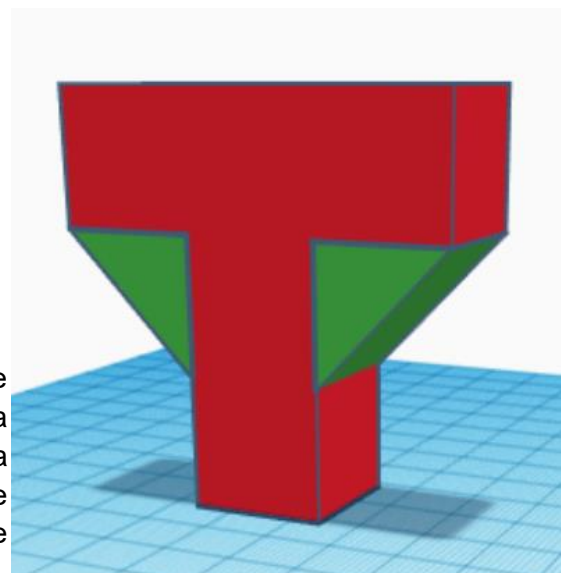
Proiectare inteligentă

Crearea unui model, ținând cont de procesul de tipărire 3D, este extrem de importantă deoarece va conduce la crearea de modele cu foarte puține margini fără susținere sau deloc.

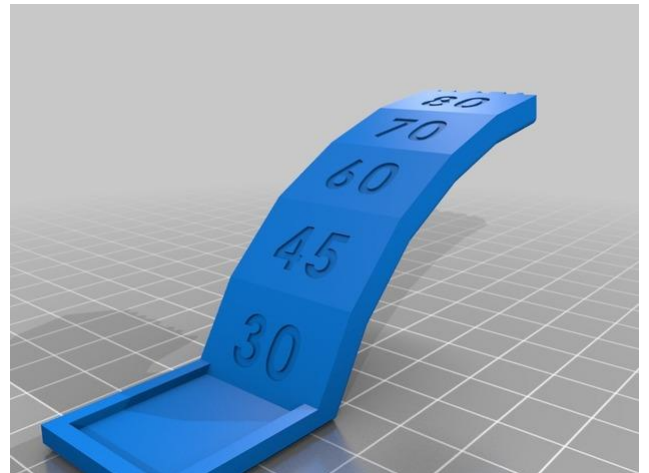
În imaginea din stânga este prezentat un model rotit pentru a evita marginile fără susținere. În imaginea de mai jos e prezentat un model ce arată faptul că imprimantele FFF 3D pot tipări margini fără susținere de mici dimensiuni. Cât de bună este o imprimantă în a tipări aceste mici margini depinde în mare măsură de: rapiditatea cu care filamentul se răcește, viteza



imprimantei, materialul folosit și de multe alte lucruri. Se pot realiza diferite teste pentru a verifica performanța fiecărei imprimante. Așa cum s-a menționat anterior, proiectarea inteligentă în care se ia în considerare limitările metodei de producție



e extrem de importantă, indiferent că metoda de producție implică folosirea unei imprimante 3D, a unei mașini cu comandă numerică, a unui laser sau a altui dispozitiv. Totuși, uneori, acest lucru poate conduce la o distorsionare a modelului dorit. Spre exemplu modelul din imaginea de mai sus nu va arăta precum litera T după tipărire.



Astfel, problema marginilor fără susținere poate fi abordată în diferite moduri și în diferite etape ale procesului de modelare și tipărire 3D. Mai jos este prezentat un tabel ce prezintă când se aplică metodele de rezolvare a problemei marginilor fără susținere.

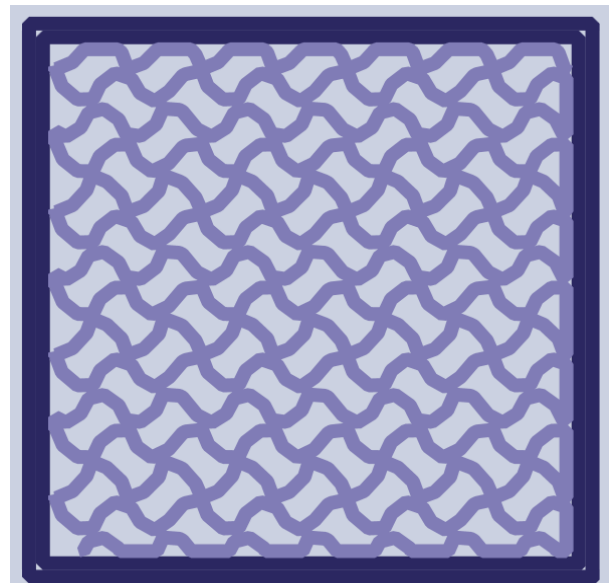
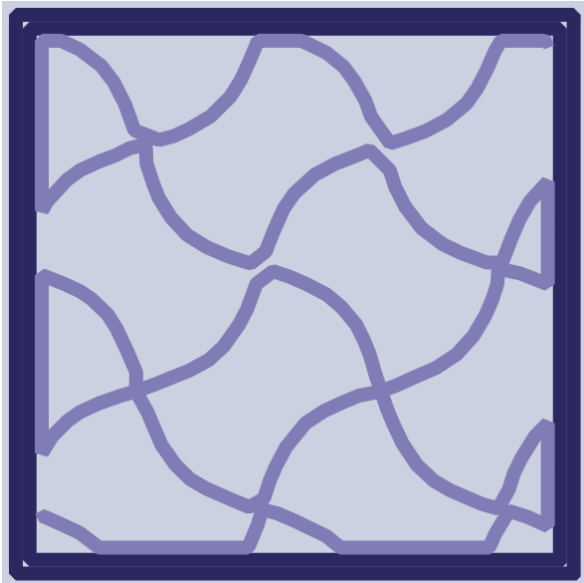
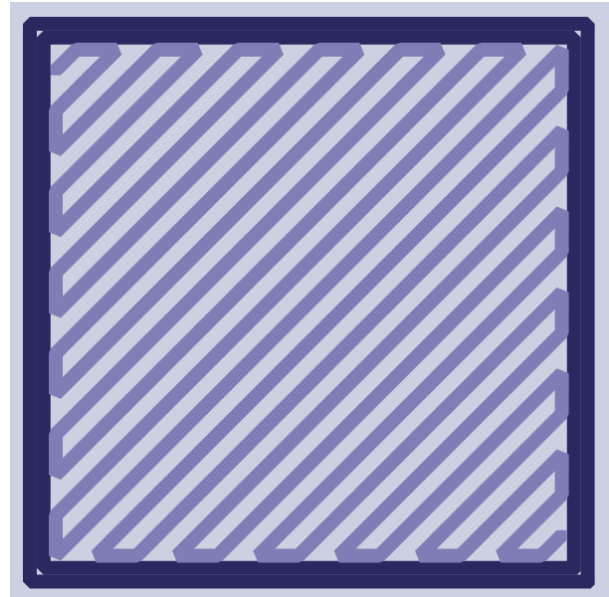
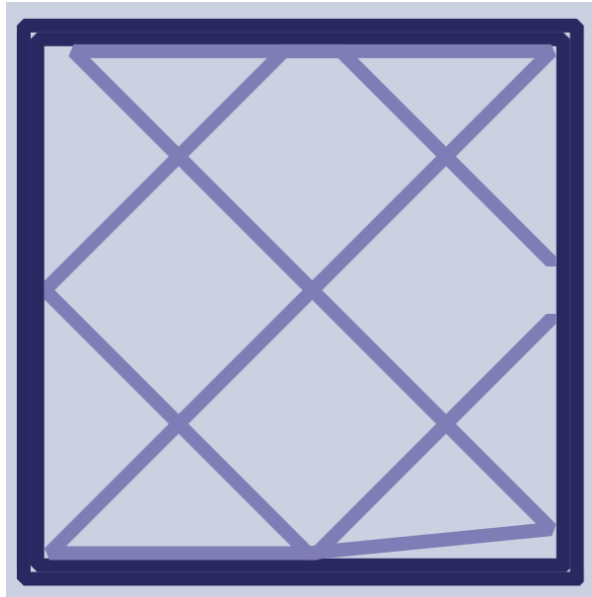
Metoda	Proiectare	Slicer	După tipărire
Adăugare suport	Suport manual	Suport automat	Eliminare suport/ Finisare
Modificare orientare	Proiectare orientare pentru tipărire 3D	Rotire și oglindire	
Proiectare inteligentă	Proiectare ținând cont de procesul de tipărire 3D		

Lecția de proiectare a unui pod ce va fi descrisă în continuare, e, de obicei o lecție foarte buna pentru a-i familiariza pe elevi cu termenul de margini. De obicei, elevii fără experiență în tipărire 3D vor avea tendința de a proiecta podul în poziția finală. Sugerăm profesorilor să-i lase pe elevi să facă greșeli, chiar dacă știu că vor eșua. De obicei e de preferabil ca elevii să fie lăsați să înțeleagă singuri, din practică, cum rezolvă problema marginilor fără susținere decât să li se prezinte teoretic subiectul.

Interior și contururi

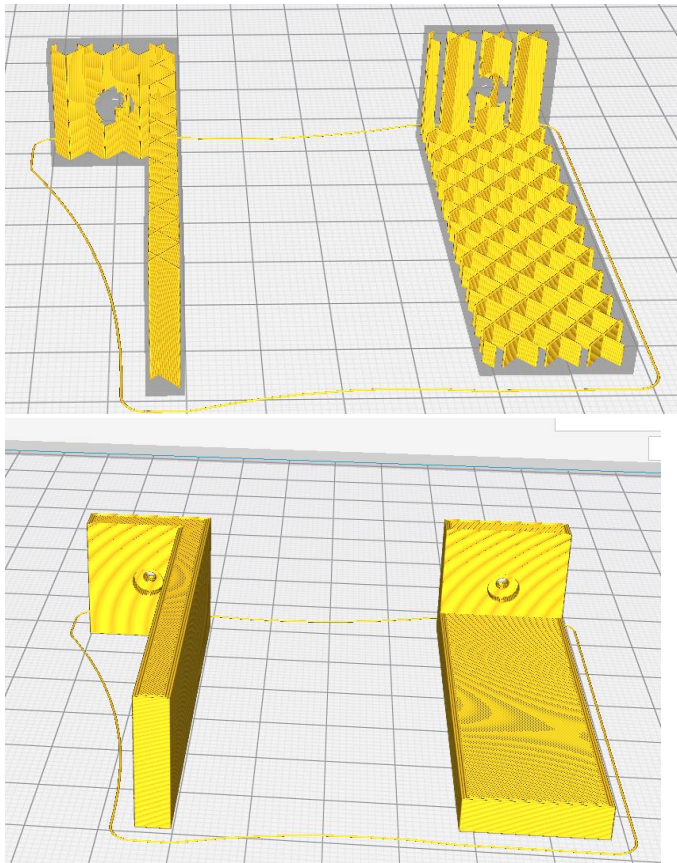
Majoritatea obiectelor 3D nu sunt tipărite cu interiorul plin, ci sunt forma unei carcase cu interiorul gol în mare parte. Interiorul va consta într-o structură de material, cunoscută sub denumirea de *Infill*. În slicer se poate de obicei controla densitatea interiorului. În general opțiunea *infill* este setată implicit la 20% ceea ce înseamnă că 20% din geometria internă a

obiectului va consta în material și 80% va consta în goluri de aer. Pentru obiectele care nu necesită integritate structurală semnificativă această valoare e de obicei suficientă. La nevoie, densitatea poate fi mărită pentru a crește rezistența, dar acest lucru va conduce la o cantitate mai mare de material folosit și la un timp de tipărire mai mare. Există câteva variante de geometrie a interiorului. Cea mai folosită formă și printre cele mai simple o reprezintă forma pătrată. Există și alte tipuri care pot oferi obiectului proprietăți interesante. Mai jos este prezentat un exemplu de interior pătrat și unul de interior gyroid cu densitatea de 15% și 50%. Gyroid-ul are numeroase proprietăți interesante.



Interiorului nu e singurul element ce determină rezistența unui obiect. Stratul exterior (carcasa) poate avea, de asemenea, o influență asupra rezistenței obiectului. Setarea a 4 straturi de contur în loc de 2 poate îmbunătăți semnificativ rezistența obiectului.

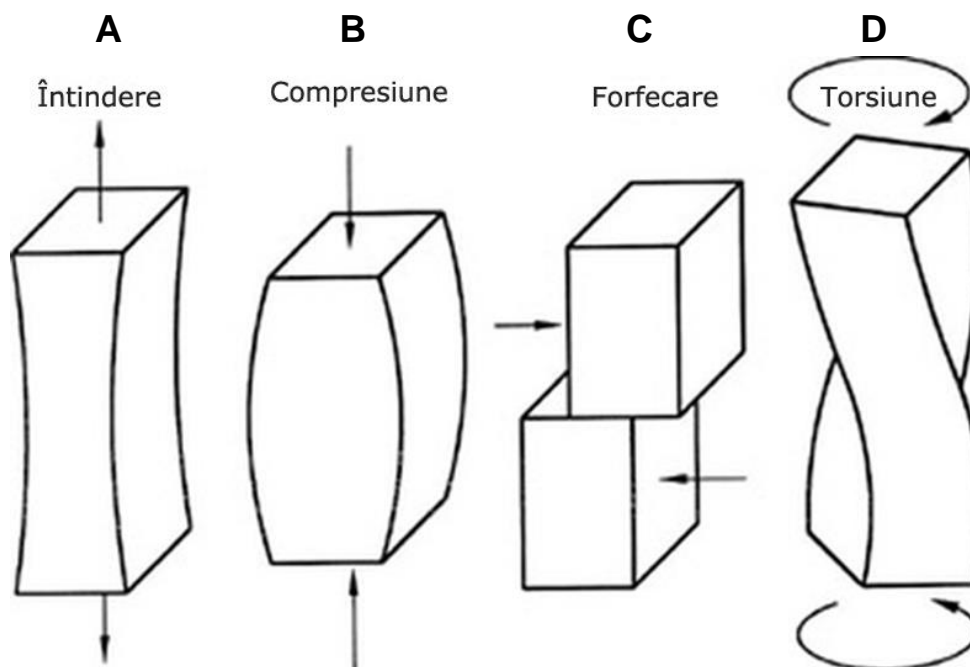
Mai jos e prezentat o consolă simplă în Cura. În imaginea de deasupra se vede doar interiorul, iar în cea de jos carcasa. Consola e prezentată în două orientări diferite. Întrebarea este: consola va fi la fel de rezistentă în ambele cazuri? Răspunsul depinde de ce înțelegem prin rezistență, așa cum se va vedea în exemplul următor.



Problemă: Rezistența și tipărirea 3D

Fie desenul de mai jos ce include o reprezentare a 4 tipuri diferite de rezistență pe care un obiect îl poate avea din punct de vedere structural: rezistența la întindere, rezistența la compresiune, rezistența la forfecare și rezistența la torsiune. Cum ar trebui orientat obiectul la tipărire pentru a obține cea mai mare rezistență dorită în cele 4 cazuri?

Tema 1: Desenați straturile pe desenul de mai jos cu orientarea pe care credeți că ar trebui să o aibă obiectul tipărit pentru a obține rezistența cea mai mare în cele 4 cazuri.



Tema 2: Pentru fiecare dintre aceste exemple, o densitate interioară mare sau o carcasa groasă/mai multe straturi de contur va avea mai multe beneficii? Plasați un X în caseta corespunzătoare.

	Densitate interioară mare	Carcasă groasă/ mai multe straturi de contur
A		
B		
C		
D		

Această însușire a unui obiect 3D de a nu fi la fel de rezistent în toate direcțiile poartă numele de „anizotropie”. Această proprietate provine de la această structură a obiectelor 3D în straturi. Aderența dintre straturi limitează rezistența obiectelor. De aceea, în exemplul anterior,

rezistența e întotdeauna maximă, când forțele sunt opuse direcției straturilor, de-a lungul carcasei. Acest aspect trebuie avut în vedere în procesul de proiectare și tipărire dacă se urmărește ca obiectul să aibă o anumită rezistență. Pentru mai multe detalii despre acest aspect accesați “the 3D printing handbook”². Pentru exemplele anterioare, pentru obținerea unei rezistențe pe o anumită direcție se pot folosi opțiunile din aplicația slicer. Pentru probleme mai complexe, în care se dorește rezistențe în diferite direcții pentru diferite părți ale obiectului, aceste aspecte trebuie luate în considerare în etapa de modelare CAD.

În continuare este prezentat un plan de lecție ce poate fi folosit cu elevi de vârste diferite pentru a explora aceste aspecte într-o manieră intuitivă.

Tema 2 de proiectare: Pod peste o autostradă

Acest plan de lecție a fost testat într-o situație de învățare reală la una dintre școlile partenere ale organizației Create it REAL din Danemarca. Acest scenariu reprezintă o bună introducere în setările de bază ale aplicației slicer, deoarece participanții vor descoperi în cadrul unui proiect aspecte precum marginile fără sprijin, densitatea interiorului, contururile. Planul de lecție e, de asemenea, potrivit pentru lucrul în echipă și poate fi modificat cu ușurință pentru a scădea sau crește complexitatea, în funcție de vârsta participanților.

Enunțul problemei

Ministerul transporturilor din România a analizat situația podurilor de pe autostrăzi și a ajuns la concluzia că multe dintre acestea se află într-o stare de degradare ridicată și trebuie refăcute de urgență. Ministerul caută un contractor care poate construi un pod cu cât mai puțin material dar care e și foarte rezistent. Fiecare echipă va reprezenta un contractor și va proiecta un model la scară redusă a unui pod care să convingă comitetul înființat în această privință că propunerea lor e cea mai bună.

Cerințe

- Proiectarea unui model a unui pod la scară 1:500.
- Podul trebuie să fie suficient de mare pentru a permite trecerea simultană a 4 camioane pe dedesubt și a 2 mașini mici deasupra.
- Se va calcula costul materialului folosit la pod, știind că 1 m^3 de beton armat costă 210€
- Se va testa rezistența podului prin plasarea graduală de greutate deasupra podului, până acesta se va rupe. Se va nota greutatea la care podul se rupe și aceasta va fi măsura rezistenței.
- Apoi se va reproiecta podul pe baza experienței cu podul anterior, îmbunătățind astfel designul prin mai multe iterații.

² <https://www.3dhubs.com/3d-printing-handbook>

Proiectare și tipărire

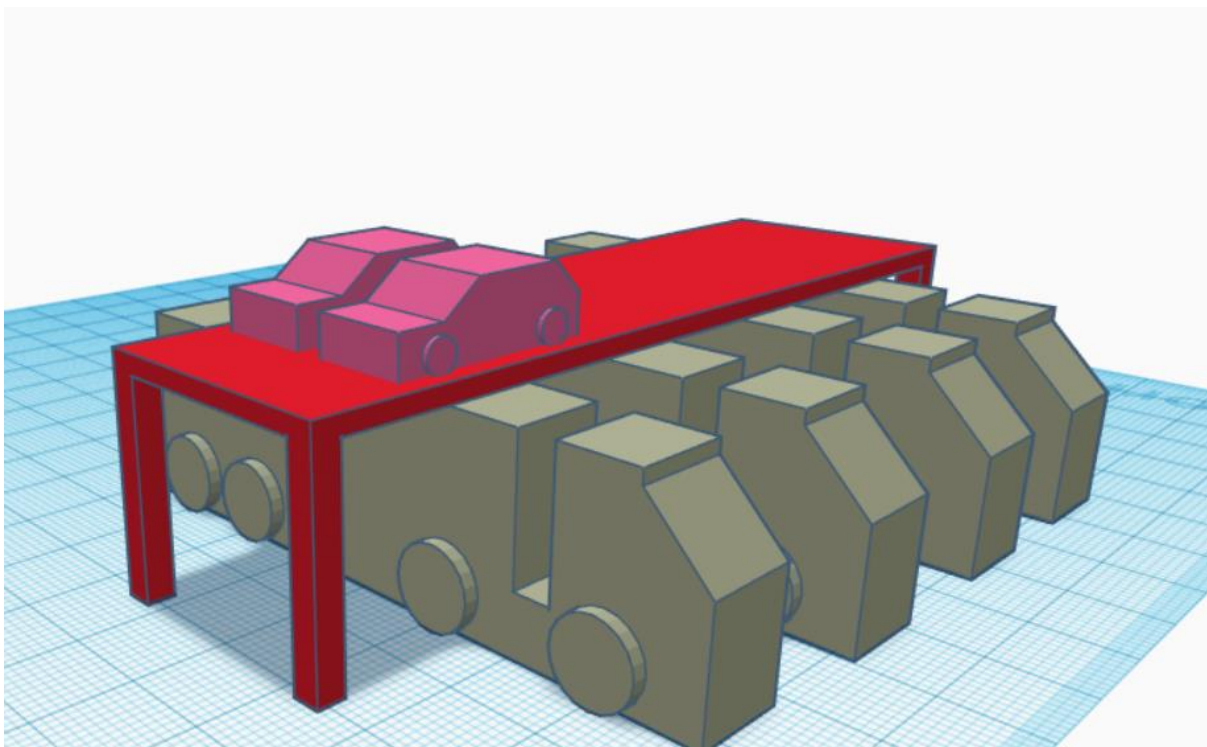
Proiectarea se va face în Tinkercad. În continuare sunt prezentate câteva funcționalități ale aplicației ce ar putea fi utile în realizarea podului.

Import: Se folosește pentru a importa fișierele car.stl și truck.stl. Acestea sunt modele la scară redusă a mașinilor și camioanelor necesare ca repere în proiectarea podului. Reamintim că podul trebuie să permită trecerea a 4 camioane pe dedesubt și a 2 mașini pe deasupra.

Align: Funcția de aliniere poate fi utilizată pentru a alinia una sau mai multe obiecte, unul față de celălalt. Acest lucru ajută la modelarea cu precizie.

Workplane: Poate fi adăugat un nou plan de lucru pentru a ajuta la construirea modelelor, unul deasupra celuilalt. Se poate adăuga un plan de lucru și pe o latură a unui model.

După crearea modelului de pod, descărcați fișierul STL. Se recomandă crearea rapidă a modelului și tipărirea acestuia pentru a putea realiza mai multe iterații.



Înainte de tipărire, reamintiți-vă care e cea mai rapidă metodă de rezolvare a problemei marginilor fără sprijin.

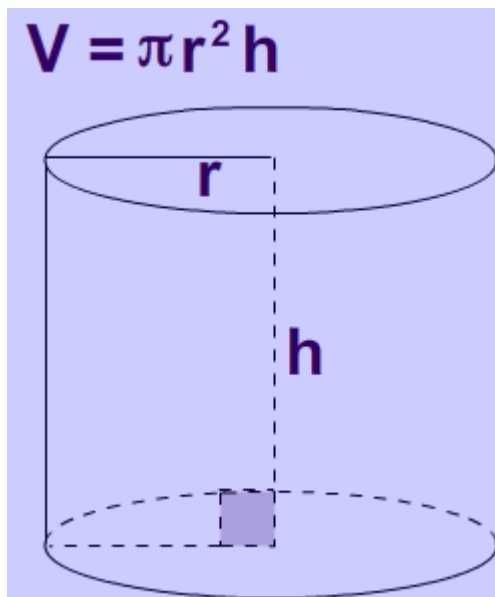
Calcule și măsurări

Pentru fiecare pod creat și tipărit trebuie extrase două informații: **prețul** materiei prime și **rezistența** modelului. Prețul va fi obținut în urma unor calcule, iar rezistența prin experimentare.

Prețul

În software-ul de slicing se poate, de obicei obține informații cu privire la consumul de material. Acesta este dat fie în metri de filament, fie în grame.

Filamentul este, de obicei, un cilindru lung cu un diametru dat (cel mai folosit filament are diametrul filamentului de 1,75, dar se găsesc foarte des și filamente cu diametrul de 2,85mm). Folosind ecuația de calcul a volumului unui cilindru cunoscând, raza (**r**) și înălțimea (**h**), se poate obține volumul de material folosit pentru model. Reamintim că modelul e la scară (**s**) de 1:500, iar prețul unui metru cub de beton armat (**p**) este de 210€. Se observă că diametrul filamentului e exprimat în mm, iar lungimea filamentului e exprimată în m. Se recomandă conversia în m. Prețul poate fi calculat cu formula:



$$Pretul = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot s^3 \cdot p$$

În cazul în care aplicația slicer oferă consumul de material în grame, cunoscând că un gram de filament are o lungime de aproximativ 0,37m, **h** se calculează cu formula:

$$h = g \cdot 0,37$$

După calcularea prețului, notați-l pe un bilețel (post-it). Prețul podului poate fi calculat în timpul tipăririi primei versiuni a podului.

Rezistența

După tipărirea podului, acesta trebuie testat. Acest lucru poate fi realizat prin plasarea de topuri de hârtie, crescând gradual greutatea, până podul se prăbușește. Notați la câte topuri de hârtie a rezistat podul. În cadrul lecției, aceasta va fi o măsură a rezistenței. Notați informația pe aceeași hârtie pe care ați notat prețul.



Autoevaluare și reflecții

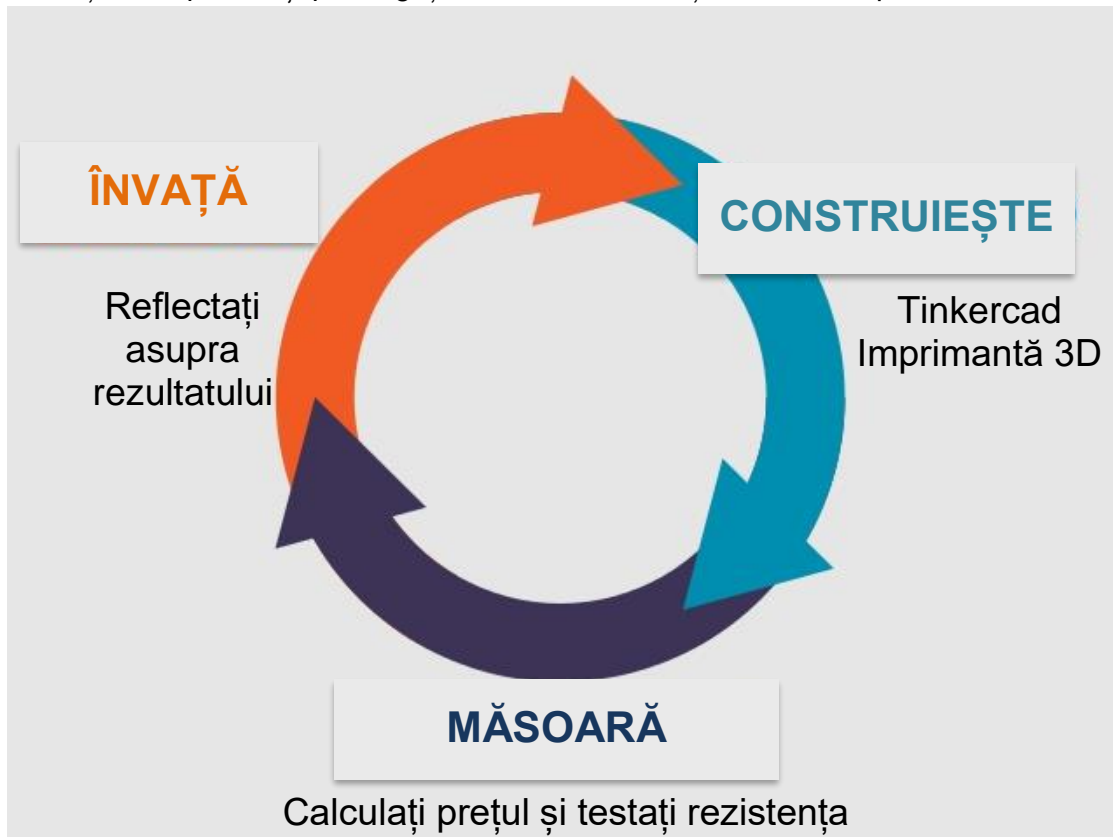
După proiectarea podului, calcularea prețului și testarea rezistenței, se va folosi un instrument de evaluare numit “sistemul de coordonate Oresmian”. Acesta este un sistem de coordonate cu două axe, corelate cu cei doi factori de interes: prețul și rezistența. Obiectul 3D va fi plasat peste hârtia cu cele două valori în secțiunea corespunzătoare în sistemul de coordonate. Sistemul de coordonate va ajuta la planificarea următoarei iterații a podului.

În această etapă a lecției pot fi dezbătute următoarele întrebări:

1. Unde se găsește designul optim în acest sistem de coordonate?
2. De ce podul tău e plasat în acea poziție?
3. Comparați poziția cu pozițiile podurilor celorlalți copii. Care sunt punctul tare și punctul slab ale proiectului tău?
4. Cum poți îmbunătăți designul?

Proiectați o nouă iterație a podului care să fie mai bună pe cel puțin pe o axă. Observați unde a cedat podul și folosiți această observație la proiectarea noii iterații a podului.

Continuați acest proces și parcurgeți cât mai multe iterații, în limita timpului alocat.



Cum să echilibrezi structura și libertatea în cadrul unui proiect

Exemplul de mai sus reprezintă o încercare de a obține echilibrul perfect dintre libertate și structură în cadrul unei lecții. Tipărirea 3D ca tehnologie este adânc înrădăcinată în așa numita "maker movement" („mișcarea producătorilor”), iar filozofia acestei mișcări începe să influențeze modul în care predăm tehnologia în școli. Această mișcare susține accesul liber la tehnologii puternice și o mentalitate comunitară de ajutor reciproc pentru învățarea unor noi tehnologii și abilitați, mai degrabă decât să se bazeze pe instituții de învățământ stabilite, uneori rigide. Cu toate acestea, atunci când instituțiile de învățământ adoptă această filosofie, devine necesar să se obțină cele mai bune rezultate din ambele lumi.

Studiile noastre din școlile locale au arătat faptul că profesorii preferă ca lecțiile lor să fie o structurate. Această secțiune va analiza modul de armonizare a dorinței profesorilor privind structurarea și filozofia „mișcării producătorilor” privind învățarea și practica autoghidată.

Ce se spune în literatură?

Majoritatea oamenilor implicați în educația tehnică sunt familiari cu lucrările lui Seymour Papert. Student al lui Piaget, matematician, Papert a scris cărți precum “Mindstorms”, și “The Childrens’ Machine” care au pus baza teoriei construcționismului.

Construcționismul este o dezvoltare ulterioară a teoriei constructivismului elaborată de Piaget: copiii construiesc cunoștințe mai degrabă prin experimentare directă decât prin obținerea lor dintr-o carte sau de la un profesor. Construcționismul lui Papert adaugă la constructivism teoria că obținerea de cunoștințe de către copii se realizează cel mai bine în situații în care aceștia construiesc obiecte importante pentru ei, indiferent că e vorba de o poezie, un robot, un program pe calculator sau orice altceva.

Lucrările lui Papert au fost centrate pe calculator și programare (la acest lucru se referă în cartea “The Children’s machine”). Deși Papert nu a vorbit despre imprimantele 3D (în principal pentru că la acel moment imprimantele 3D de birou nu erau încă inventate) teoriile sale privind predarea și pedagogia sunt aplicabile în mare măsură acestei tehnologii.

Unul dintre conceptele pe care Papert l-a introdus, ce poate fi aplicat în tipărirea 3D, este conceptul de “microlume” (en. “microworld”). Acesta se referă la un mediu de învățare în care ideile puternice și aparent complexe pot fi abordate într-un mod natural și explorator. Papert introduce o astfel de microlume pentru învățarea fizicii newtoniene, un subiect care este adesea foarte greu de înțeles de către începători. Papert sugerează că motivul este că fizica newtoniană este adesea prezentată direct prin ecuațiile matematice ce o descriu. Ca o abordare alternativă, Papert a dezvoltat o microlume în care elevii pot programa diferite elemente care să acționeze conform legilor fizicii newtoniene. Acest lucru înseamnă că elevii pot avea o înțelegere mai naturală și mai intuitivă a conceptului de fizică newtoniană, fără a fi nevoie de matematica formală.

Papert argumentează că, deși copilul nu vede o ecuație în cadrul acestui proces, copilului îi va fi mult mai ușor să înțeleagă ecuațiile formale ce vor fi introduse ulterior deoarece le va putea conecta printr-o experiență diferită.

Sylvia Martinez în cartea sa "Invent to learn - Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom" evaluează diferite aspecte ale filozofiei „mișcării producătorilor” în domeniul educațional. Unul dintre acestea este "ce face ca un proiect să fie bun". Ea definește următoarele opt caracteristici. Vom încerca să explicăm pe scurt cum proiectul privind construirea unui pod poate sprijini aceste aspecte.

1. **Scopul și relevanța** – Elevii lucrează la o problemă foarte apropiată de problemele lumii reale
2. **Timpul** – Este importantă alocarea unui timp suficient pentru proiect. Chiar și în cazul unor imprimante cu viteză de tipărire mare sunt necesare circa 5 ore. Acest lucru se datorează necesității elaborării mai multor iterații ale podului.
3. **Complexitate** – Acest proiect ar putea introduce conceptele de analiză finită și tehnici de construire, în funcție de nivelul elevilor.
4. **Intensitate** – Am observat că elevii ar putea fi complet implicați în proiectarea podurilor, iar unii elevi s-au arătat deranjați că sunt întrerupți de la lucru de pauza de masă.
5. **Conexiune** – Neașteptat, s-au ajutat între ei elevi membri în grupuri diferite, sau chiar din clase diferite.
6. **Acces** – Activitatea a fost planificată astfel încât fiecare grup de circa 3-4 elevi să aibă acces la propria imprimantă 3D. Acest lucru a însemnat că ei au putut să-și planifice procesul de tipărire. Încet elevii au devenit maeștri în managementul timpului.
7. **Partajare** – Sistemul de coordonate Oresmian face lecția partajabilă. Toți elevii pot vedea ceea ce au lucrat ceilalți și își pot compara progresul cu al celorlalți.
8. **Noutate** – Pentru lucrul la acest proiect, elevii primesc doar informații privind obiectivul proiectului și ce parametri vor fi evaluați. În continuare ei descoperă singuri. Au fost elevi ce au implementat poduri cu grinzi încrucișate, alții cu arcade, ambele folosite în inginerie, fără să li se explice aceste concepte.

Martinez descrie ca fiind o bună practică a unui proiect, prezentarea cât mai scurtă și concisă a cerințelor. În cadrul proiectului de construire a unui pod, obiectivul este destul de simplu și poate fi ușor explicat rapid. O demonstrație rapidă a testului de rezistență, de preferință cu un pod foarte subțire, poate fi suficientă pentru a explica cum se face acest lucru. Explicația privind calculul materialului consumat poate fi de fapt partea cea mai consumatoare de timp, deși acest lucru se poate face ad-hoc cu rezultatele obținute. Important este ca elevul să înceapă să proiecteze cât mai repede. Învățarea provine din iterațiile podului și din experiențele directe implicate în acest lucru.

În acest sens, proiectul de creare a unui pod este o încercare de a crea un proiect sau o microlume pentru predarea ingineriei structurale, dar printr-o proiecție deschisă, dar totuși direcționată. Copiii cu vârsta de până la 10 ani vor dobândi cunoștințe despre analiza finită și tehnici de construcție, care nu sunt predate până la nivelul universitar de inginerie mecanică, arhitectură sau alte domenii similare. Ei nu studiază utilizarea ecuațiilor formale, ci câștigă experiență intuitivă de învățare. Aceștia vor învăța despre ceea ce face un pod puternic, prin testarea rezistenței prin plasarea treptată de greutate deasupra podului pe care l-au proiectat până acesta se prăbușește.

Am observat că elevii sunt încântați de procesul de testare și prăbușire a podului. Până la urmă, cât de des au voie să distrugă lucruri în școală? Acest proces îi învață pe elevi și o lecție mai profundă: eșecul este uneori necesar pentru a învăța. Podul lor trebuie să se prăbușească! Dacă podul nu va fi forțat să se prăbușească atunci ei nu vor ști cum să-l îmbunătățească pentru următoarea iterație. Lecția îi și forțează să reflecteze și la distrugerea podului. Nu este doar o distrugere pentru distracție, așa cum un copil construiește un castel de nisip doar pentru a-l călca cu piciorul la puțin timp după terminarea acestuia. Ei sunt forțați să inspecteze cu atenție felul în care podul a fost distrus și să transforme ceea ce au descoperit într-un design tangibil ce poate fi re-testat în acest proces iterativ.

Sistemul de coordonate Oresmian

Idea activităților de învățare bazate pe proiect nu e una nouă. Chiar și ideile lui Papert din anii '80 se bazează pe ideile mai vechi ale lui John Dewey și Marie Montessori. Ce propunem nou este sistemul de coordonate Oresmian³. Efectul acestui sistem de coordonate asupra învățării s-a dovedit a fi unul profund. Sistemul de coordonate face ca natura iterativă a procesului de proiectare să fie mai vizibil. Cu ajutorul acestui sistem pot fi observate greșelile anterioare și evoluția performanțelor versiunilor dezvoltate. Sistemul de coordonate oferă o bună oportunitate pentru discuții între profesor și elevi cu privire la proiectul lor pentru a-i determina să se gândească la cum ar trebui dezvoltate iterațiile viitoare. Sistemul de coordonate Oresmian poate fi folosit în cadrul oricărei lecții în care sunt evaluați doi parametri ai unui obiect. În continuare sunt prezentate câteva idei de lecții în care poate fi folosit acest sistem de coordonate:

Bărcă

Copii se pot inspira din designul de pe thingiverse accesibil la adresa:

<https://www.thingiverse.com/thing:843646>

Apoi ei pot reproiecta câteva dintre componente pentru a obține o barcă care să se deplaseze cât mai departe și să care o greutate cât mai mare (spre exemplu monede). În cadrul acestei lecții pot fi explorate tematici cum ar fi: hidrodinamică, frecare, legea lui Arhimede și centru de greutate.

Catapultă

Elevii vor proiecta catapulte care să arunce un obiect predefinit cât mai departe și cât mai precis. Astfel, elevii vor trebui să proiecteze o catapultă care să aibă suficientă putere să arunce cât mai departe și precizia de a lovi o anumită țintă. Astfel, ambele axe ale sistemului de coordonate vor reprezenta o distanță: distanța parcursă și distanța față de țintă. Catapulta poate consta din mai multe componente (cadru, braț, arc și altele). Toate aceste componente pot fi reproiectate individual pentru a obține cel mai bun rezultat. Prin intermediul acestei activități, elevii pot învăța atât despre balistică, curbe parabolice și pârgarii cât și despre proiectarea unui sistem din mai multe componente, astfel forțându-i să se gândească la întregul sistem într-un mod holistic.

³ [http://vbn.aau.dk/da/publications/barriers-and-opportunities-for-3d-printing-in-danish-schools\(e6029340-0c6d-43f8-85e9-5f62c8bd6578\).html](http://vbn.aau.dk/da/publications/barriers-and-opportunities-for-3d-printing-in-danish-schools(e6029340-0c6d-43f8-85e9-5f62c8bd6578).html)

Titirez

Un titirez care poate fi pornit cu ajutorul unui instrument a fost o jucărie populară pentru foarte mulți ani. La adresa <https://www.thingiverse.com/thing:1395135> poate fi găsită o versiune 3D tipăribilă a unui titirez.

Avantajul acestui design e acela că majoritatea componentelor pot fi tipărite înainte de implementarea lecției. În timpul lecției elevii se pot concentra pe reproiectarea și îmbunătățirea unor componente cheie ale designului. Elevii pot folosi sistemul de coordonate Oresmian pentru a reprezenta greutatea sau diametrul și timpul mediu de rotire a titirezului. În cadrul lecției elevii pot învăța despre inerție, impuls, fizică newtoniană și coordonatele lui Euler.

Rezumat

Acest manual reprezintă un ghid rapid de introducere în tipărirea 3D aplicată la clasă. Nu este un ghid complet, un astfel de ghid neputând probabil exista niciodată. Tipărirea 3D este un domeniu în dezvoltare, iar tehnologiile pe care le putem preda copiilor în acest moment vor fi probabil depășite atunci când aceștia își vor începe carierele profesionale. De aceea e important de înțeles că lecțiile sustenabile nu sunt cele care îi învață pe copii cum să creeze un model 3D și să-l tipărească, ci acele lecții care îi învață orice altceva prin utilizarea acestei tehnologii. Învățarea elevilor că un design nu e niciodată final, că lucrurile pot fi îmbunătățite prin mai multe iterații, că uneori e necesar să nu reușești pentru a învăța sunt toate mai curând exemple de lecții de viață decât lecții de tipărire 3D. Având mai curând în vedere imaginea de ansamblu și ceea ce dorim să obținem prin tipărea 3D, decât prezentarea detaliilor tehnice privind procesul de slicing și calitatea tipăririi, poate avea ca rezultat învățarea unor idei importante, utile pe parcursul întregii vieți. Imprimantele 3D oferă posibilitatea unică de a vedea cum o idee prinde viață și de a o testa în viața reală. Posibilitățile acestei tehnologii nu sunt încă înțelese, dar credem cu tărie că utilizările cu adevărat uimitoare ale acestei tehnologii vor veni nu de la generația noastră ci de la generația pe care o pregătim acum.

Referințe

Despre tipărirea 3D, în general

Manual privind tipărirea 3D <https://www.3dhubs.com/3d-printing-handbook>
Simplify3D conține un ghid privind calitatea tipăririi și despre materialele folosite
<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>
<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

Tehnologia în educație

Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom, *Sylvia Martinez and Gary Stager* <https://inventtolearn.com/>

Meaningful making, Projects and inspirations for fab labs and makerspaces, *Paolo Blikstein, Sylvia Martinez* <http://fablearn.stanford.edu/fellows/page/meaningful-making-book>

MINDSTORMS, Children, computers and powerful ideas, *Seymore Papert*
<http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf>

Worlds of making <https://www.worldsofmaking.com/>

Makerbots 3D printing handbook for education https://www.makerbot.com/educators-guidebook/?utm_source=thingiverse&utm_medium=education&utm_campaign=tv-makerbot-in-the-classroom

Software CAD

www.tinkercad.com
<https://www.rhino3d.com/>
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>
<http://www.grasshopper3d.com/>
<https://www.autodesk.dk/products/maya/overview>
<https://www.blender.org/>