

## 3D nyomtatás és gyártási tapasztalatok

A projekt megvalósításának egyik kulcsfontosságú eleme a digitális tervezési folyamatok fizikai kivitelezése volt. A 3D nyomtatás alkalmazása lehetőséget biztosított arra, hogy a tanulók közvetlen tapasztalatot szerezzenek a számítógépes modellezés és a valós gyártás közötti összefüggésekről, valamint megértsék a gyártásra tervezés alapelveinek jelentőségét. A napjainkban népszerű és folyamatosan növekvő felhasználási területekkel rendelkező 3D nyomtatás több tekintetben is ideális választás volt a projekt ezen szakaszának fizikai megvalósítására.

A gyártási fázis során világossá vált, hogy a digitális térben helyesnek tűnő megoldások a fizikai megvalósítás során gyakran módosítást igényelnek. Ez a tapasztalat különösen értékes volt oktatási szempontból, mivel a tanulók nem elszigetelt feladatként, hanem egy összefüggő fejlesztési folyamat részeként találtak a problémákkal, azok elemzésével és megoldásával.

### A 3D nyomtató és a Bambu Studio bemutatása

#### Az alkalmazott eljárás rövid bemutatása

A projekt során alkalmazott additív gyártási eljárás az FDM (Fused Deposition Modeling) technológia volt, amely napjaink egyik legelterjedtebb és legkönnyebben hozzáférhető 3D nyomtatási módszere. Az eljárás lényege, hogy a nyomtató egy folyamatos műanyag szál (filamentet) olvaszt meg, majd azt rétegenként, előre meghatározott pályák mentén helyezi el.

Az FDM technológia oktatási környezetben különösen jól alkalmazható, mivel a gyártási folyamat lépései jól nyomon követhetők, és a nyomtatási paraméterek módosításának hatásai azonnal érzékelhetők. A tanulók számára ez lehetőséget teremtett arra, hogy ne csupán a végeredményt szemléljék, hanem a teljes gyártási folyamatot megértsék és értelmezzék.

#### Hardveres felépítés és működés

A nyomtatási feladatokat egy **Bambu Lab X1 Carbon** típusú, zárt kialakítású asztali 3D nyomtatóval valósítottuk meg. A berendezés fejlett szenzorrendszerrel, automatikus asztalszintezéssel és nagy pontosságú mozgatórendszerrel rendelkezik, amelyek együttesen stabil és megbízható működést biztosítanak. Azért esett a projekt megvalósítása során erre a nyomtatóra a választásunk, mert a piacon elérhető alternatívák közül olyan eszközt kerestünk, amely nemcsak magas minőségben, számos kalibrációs és testreszabhatósági lehetőséggel képes legyártani a tárgyakat, de mindezt időhatékonyan teszi. A nyomtató használata jelentősen kevesebb háttér kalibrációs folyamatot igényelt, mint más készülékek, amelynek következtében lehetőségünk volt a projekt lényegesebb területeire többletidőt fordítani. Alternatívaként egy Prusa i3 MK3S+ nyomtatót is kiválasztottunk, azonban a könnyebb kezelhetőség és a professzionális kivitel miatt esett végül döntésünk az X1 Carbonra.



Bambu Lab X1 Carbon 3D nyomtató (Forrás: <https://www.3djake.hu/bambu-lab/x1c>)

A zárt nyomtatótér különösen fontos szerepet játszott a projekt során, mivel a környezeti hatások (hőmérséklet, légmozgás) minimalizálásával csökkentette a nyomtatási hibák előfordulását. Ez lehetővé tette, hogy a tanulók a technológiai összefüggésekre koncentráljanak, és ne a környezeti instabilitásból fakadó problémák dominálják a tapasztalataikat.

#### Az AMS filament adagoló rendszer

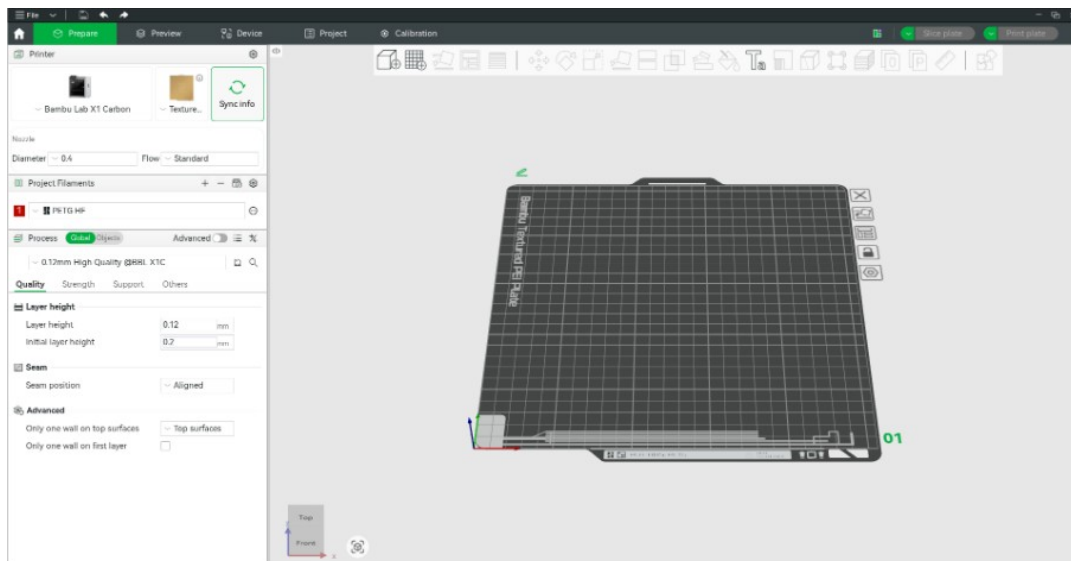


AMS filament adagoló (Forrás: <https://www.3djake.hu/bambu-lab/x1c>)

A nyomtatóhoz csatlakozó AMS (Automatic Material System) automatikus filament adagoló rendszer több tekercs alapanyag egyidejű kezelésére képes. Bár a projekt során alapvetően egyszínű és egyféle anyagból készült alkatrészeket gyártottunk, az AMS rendszer használata fontos technológiai ismereteket adott át. Emellett a gyártási folyamatot is elősegítette, mivel nem kellett a kifogyott tekercsek cseréjénél, vagy a színek váltásánál ki- és befűzni a filamentet a nyomtatóba.

A tanulók megismerték az anyagkezelés és az alapanyagok állapotának jelentőségét, különös tekintettel a nedvesség hatására és a tárolás fontosságára, kiemelve az AMS passzív és aktív filament szárító eszközeit. Emellett az AMS működése jó kiindulási alapot jelentett a többanyagú és több színű gyártási lehetőségek későbbi bemutatásához.

## Szeletelési alapelvek



Bambu Studio szeletelő szoftver (Forrás: Saját szerkesztés)

A digitális modellek gyártható formára alakítását a **Bambu Studio** szeletelő szoftver segítségével végeztük. A Bambu Studio a nyomtató gyártójának (Bambu Lab) saját, nyílt forráskódú szoftvere, amely a PrusaSlicer szeletelő programra alapul és elérhető valamennyi főbb asztali operációs rendszerre.

A szeletelés során a tanulók szembesültek azzal, hogy a geometria önmagában nem elegendő a sikeres nyomtatáshoz; a megfelelő paraméterezés legalább ilyen fontos.

A szeletelési beállítások módosításával érzékelhetővé vált a nyomtatási idő, az anyagfelhasználás és a szerkezeti stabilitás közötti összefüggés. Ez a tapasztalat hozzájárult ahhoz, hogy a tanulók a gyártási folyamatot komplex rendszerként értelmezzék, nem pedig elszigetelt lépések sorozataként. A szeletelési folyamatok során jó kiindulási alapot jelentettek a szoftverbe integrált, alapértelmezett nyomtatási profilok, melyek nemcsak a nyomtatás minőségére, de a felhasznált anyagból eredő optimális konfigurációra is kitértek. Ezek segítségével még szemléletesebbé vált az egyes beállítások közötti eltérés.

A nyomtatási paraméterek megadása mellett hasonlóan fontos szerepet kapott a nyomtatásba foglalt modellek orientációja, színbeállítása, a tálcák előkészítése. Külön figyelmet kellett fordítani a modellek optimális tapadására, valamint az alátámasztások szükségességének vizsgálatára.

### Anyagok (PLA, PETG, ABS)

A projekt során több gyakran használt 3D nyomtatási alapanyag tulajdonságait is megvizsgáltuk, azonban a tényleges gyártáshoz **PETG** anyagot választottunk. A döntés mögött szakmai és pedagógiai megfontolások egyaránt álltak.

A PETG megfelelő egyensúlyt biztosít a könnyű nyomtathatóság és a mechanikai ellenállás között, miközben kevésbé hajlamos a vetemedésre, mint az ABS. Ez különösen előnyös volt a hosszabb nyomtatási idejű, funkcionális alkatrészek esetében. A tanulók így valós mérnöki döntési helyzetben tapasztalhatták meg az anyagválasztás jelentőségét.

Megjegyeznénk, hogy a projekt megvalósítása során rendelkezésünkre állt PLA filament is, amely alapértelmezett anyagválasztásnak tekinthető a legtöbb 3D nyomtatási projekt esetén, azonban annak tartóssága és fizikai ráhatásokkal szemben tanúsított alacsony ellenállása miatt

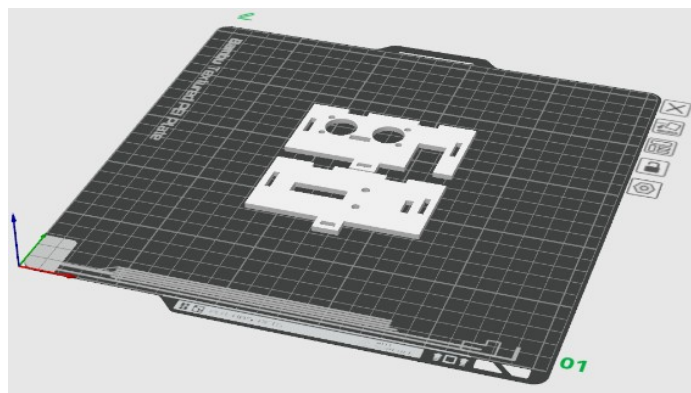
elvetettük és csak prototipizálási, valamint tesztelési célokkal alkalmaztuk. Az említett három típusú anyagon túlmenően más típusú filament (például TPU) alkalmazását nem vizsgáltuk.

### A nyomtatási folyamat lépései

A 3D nyomtatás gyakorlati megvalósítása strukturált, egymásra épülő lépések mentén történt. A folyamat tudatos felépítése lehetővé tette, hogy a tanulók ne elszigetelt műveletekként, hanem egy összefüggő gyártási rendszer részeként értelmezzék az egyes fázisokat. A nyomtatási lépések során különös hangsúlyt kapott az előkészítés, a folyamatkövetés és az elkészült alkatrészek értékelése.

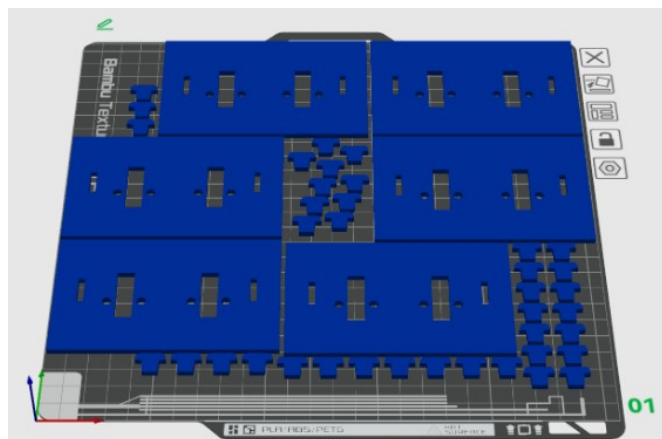
### Modell-előkészítés és ellenőrzés

A nyomtatást minden esetben részletes modell-előkészítés előzte meg, amelynek célja a gyártási hibák megelőzése és az erőforrások hatékony felhasználása volt. A tanulók ellenőrizték a digitális modellek geometriai helyességét, különös tekintettel a zárt testekre, a falvastagságokra és a kritikus illesztési felületekre.



Modell-előkészítés és ellenőrzés (Forrás: Saját szerkesztés)

Az előkészítés során kiemelt szerepet kapott a nyomtatási orientáció megválasztása is. A tanulók megtapasztalták, hogy az alkatrész elhelyezése a nyomtatótérben közvetlen hatással van a felületi minőségre, a mechanikai szilárdságra és a szükséges támaszanyag, alátámasztás mennyiségére. Ez a döntési helyzet elősegítette a térbeli szemlélet fejlődését, valamint a gyártástechnológiai szempontok tudatos alkalmazását. Magától értetődik, hogy az elemek optimális elrendezésével lehetősége volt a diákoknak optimalizáltabb nyomtatási folyamatokat indítani, mivel egy tálcára több modellt is el tudtak helyezni.



Nyomtatás optimalizálása (Forrás: Saját szerkesztés)

Az ellenőrzési folyamat végén a modellek szeletelés előtti validálása történt meg, amely megerősítette azt a szemléletet, hogy a hibák korai felismerése lényegesen hatékonyabb, mint azok utólagos javítása.

### **Nyomtatás és utómunkák**

A nyomtatási folyamat megkezdésekor a tanulók fokozott figyelmet fordítottak az első réteg megfelelő tapadására, amely az egész gyártás sikerességének egyik legkritikusabb tényezője. Az X1 Carbon nyomtató rendelkezik egy beépített AI segéddel, amely az első réteg lehelyezése után rövid időre megállítja a nyomtatást, majd megvizsgálja azt a beépített kamerán keresztül. Amennyiben problémát érzékel, azt jelzi a szeletelő programon (vagy a külön telepíthető Bambu Handy mobilalkalmazáson) keresztül a felhasználónak. A nyomtatás beindítását követően szemléletesebbnek tartottuk, ha a résztvevő tanulók saját szemükkel elemzik a nyomtatás minőségét. Az első réteg megfigyelése lehetőséget adott arra, hogy a tanulók azonnali visszajelzést kapjanak az előkészítés és a beállítások helyességéről.



A nyomtató munka közben

A hosszabb nyomtatási feladatok során a folyamat folyamatos felügyelete is fontos tanulási elem volt. A tanulók megtapasztalták, hogy a nyomtatás nem teljesen autonóm művelet, hanem olyan gyártási folyamat, amelynél szükség lehet beavatkozásra vagy újratervezésre. Ilyen eset például, ha egy tárgy elmozdul a helyéről, vagy a filament kifogy az AMS adagolóból. A tanulóknak lehetőségük volt megtekinteni ezeknek a helyzeteknek a kezelését is.

A nyomtatást követően az elkészült alkatrészek utómunkálatai következtek. Ezek közé tartozott a felületi egyenetlenségek kezelése, valamint az illesztési pontok finomítása. Az utómunkák során világossá vált, hogy a 3D nyomtatás olykor félkész állapotú terméket eredményez, amely további manuális munkát igényel a funkcionális használathoz. Ez a modellek összetettségével, valamint az alátámasztások mennyiségének növekedésével fokozódik.



Hibás nyomtatás eredményei (Forrás: Saját szerkesztés)

### **Minőségellenőrzés és hibajavítás**

Az elkészült alkatrészeket minden esetben részletes minőségellenőrzésnek vetettük alá. A vizsgálat nem csupán esztétikai szempontokra terjedt ki, hanem elsődlegesen a funkcionális megfelelőséget és a szerelhetőséget értékelte.

A tanulók összevetették a nyomtatott alkatrészek méreteit a digitális modell adataival, és elemezték az esetleges eltérések okait. A hibák feltárása során a szeletelési beállítások, az anyagjellemzők és a nyomtatási környezet hatásait is figyelembe vették. A hibajavítás így nem izolált beavatkozásként, hanem a teljes gyártási folyamat visszacsatolásaként jelent meg.

Ez a megközelítés elősegítette az analitikus gondolkodás fejlődését, és megalapozta a következő tervezési iterációk szakmailag indokolt végrehajtását.

### **Méretezési és illesztési problémák**

A projekt során szerzett tapasztalatok egyik legfontosabb tanulsága a méretezési és illesztési kérdések gyakorlati jelentősége volt. A tanulók közvetlenül megtapasztalták, hogy a digitális tervezés során alkalmazott névleges méretek a gyártás során nem mindig eredményeznek megfelelő illeszkedést, ezért a tűrések tudatos kezelése elengedhetetlen.

### **Gyártási pontatlanságok kezelése**

A 3D nyomtatás során fellépő pontatlanságok több tényező együttes hatásából adódtak, mint például az anyag zsugorodása, a rétegfelépítés sajátosságai vagy a nyomtatási orientáció. Ezek a jelenségek a tanulók számára kézzelfogható módon tették érzékelhetővé a gyártástechnológia korlátait, valamint tették szükségessé a modellek méretezésének minimális igazítását.

A gyártási eltérések kezelése érdekében a tanulók megtanulták az illesztési hézagok alkalmazását, valamint azt, hogy a mozgó vagy összeillesztendő alkatrészek esetében eltérő tervezési megközelítés szükséges, mint az egy darabból álló elemeknél. Ez a szemlélet hozzájárult a műszaki gondolkodás mélyüléséhez.

## Tervezési iterációk

A méretezési problémák megoldása gyakran több egymást követő tervezési és gyártási ciklust igényelt. Olyan esetek kezelése is szükséges volt, amikor nem a nyomtatási folyamat, hanem tervezése hiba eredményeképp nem valósult meg az elemek egymáshoz illeszthetősége. A tanulók a tapasztalatok alapján módosították a modelleket, majd újranyomtatták az érintett alkatrészeket, így rövid időn belül visszajelzést kaptak döntéseik helyességéről.

Az iteratív folyamat során különösen jól érvényesült a parametrikus tervezés előnye, mivel a méretek gyors módosítása és újragyártása lehetővé tette a hatékony kísérletezést. Ez a módszer segített abban, hogy a tanulók ne statikus megoldásokban gondolkodjanak, hanem rugalmas fejlesztési folyamatban.

## A folyamatok oktatásbeli jelentősége, tanulói tapasztalatok és tanulságok

A méretezési és illesztési problémák kezelése kiemelkedő oktatási értékkel bírt, mivel a tanulók valós mérnöki helyzetekkel szembesültek. A problémák elemzése, a hibák felismerése és a megoldások kidolgozása során fejlődött az önálló gondolkodásuk és a felelősségteljes döntéshozataluk.

A tanulók számára világossá vált, hogy a tervezés és a gyártás szoros egységet alkot, és egyik sem értelmezhető a másik nélkül. A tapasztalatok hozzájárultak ahhoz, hogy a projekt nem csupán technológiai ismereteket adott át, hanem hosszú távon is hasznosítható szemléletet alakított ki.

Emellett a 3D nyomtatásban szerzett tapasztalat további tudástranszfer lehetőségeket rejt, melyet kamatoztathatnak más tantárgyak tanulásánál (matematika, fizika, műszaki szakmai tantárgyak), valamint akár otthoni környezetben is, saját 3D nyomtató üzemeltetése során.



Nyomtatott, összerakott ház