

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

# Háromdimenziós makett készítése digitális domborzatmodellből

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK  
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKA SPECIALIZÁCIÓ

*Készítette:*  
Balla Dániel

*Témavezető:*  
Dr. Albert Gáspár  
egyetemi docens  
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2020

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Használt szoftverek .....	5
3. Modellezendő területek .....	6
4. A nyers adatok feldolgozása .....	7
4.1 Vetület és optimális méret kiválasztása .....	7
4.2 DEM betöltése és előkészítése .....	7
4.3 Vízfelületek korrigálása .....	10
4.4 STL fájlá alakítás .....	12
4.5 Az STL fájl opcionális módosítása .....	16
5. A makett megvalósulása (3D-nyomtatás) .....	23
5.1 A 3D-nyomtatás rövid története és általános tudnivalói .....	23
5.2 A használt 3D-nyomtató és paraméterei .....	25
5.3 A modellek szeletelése (slicing) és nyomtatása (folyamat, paraméterek).....	26
5.3.1 Anyaghasználat és időigény .....	29
6. Alternatív végtermékek .....	30
6.1 Szintvonalas makett készítése .....	30
6.2 Kirakós makett készítése (puzzle).....	33
7. Összegzés .....	38
8. Hivatkozások.....	39
9. Ábrajegyzék .....	41
10. Köszönetnyilvánítás .....	42
11. Nyilatkozat .....	43

## 1. Bevezetés

A papír alapú (kétdimenziós) térkép egy adott terület morfológiai jellemzőit szintvonalakkal és/vagy domborzatárnyékolással mutatja be. Ahhoz, hogy a térképolvasó értelmezni tudja ezt, bizonyos kompetenciákkal rendelkeznie kell (pl. a domborzati formák felismerése vagy relatív magasságok meghatározása). A mai topográfiai térképek domborzatrajzának értelmezésére nagy hatással van a térképolvasói tapasztalat. Ezt korábbi kutatási eredmények igazolják, pl. (Szigeti, Albert, & Kis, 2018). A domborzat, mint folytonos jelenség (kontinuum) leírásához terepmodelleket készítenek (analog vagy digitális), amelyek matematikailag leírható formában értelmezik a domborzatot. A terepmodell a földfelszín egy részének 2,5D-s reprezentációja, ahol a "harmadik dimenzió" csak egy attribútum, jelen esetben magassági érték (Albert, 3D modeling in GIS: Lecture notes on the masters course ITM-E3DM E, 2015). A digitális terepmodelleket több területen is alkalmazzák, pl. geomorfometriai vagy hidrológiai elemzéseknél, pl. (Gerzsenyi, 2016).

A fizikailag megérinthető, domborzatot ábrázoló makettek véleményem szerint rendkívül látványosak (kifejezetten hegyvidéki területekről) és lehetőséget kínálnak arra, hogy ne csak egy szemszögből szemléljük a terepet (mint ahogy például egy fényképen tennénk), mivel ezeket forgathatjuk (ha kisebb a makett), vagy akár körbe is járhatjuk. A fizikai makettek sokat segítenek egy egyén térlátásának fejlesztésében is (Hasiuk & Harding, 2016). Hátrányuk, hogy ezen makettek hagyományos módszerekkel való legyártása (pl. rétegenkénti kivágás és egymásra helyezés vagy a műanyag hő hatására, merev mintába való zsugorítása) bonyolult feladat, és nem kivitelezhető átlagos otthoni körülmények között.

A 3D-nyomtatás annak ellenére, hogy a köztudatba csak 2010-es évek végére került, már évtizedek óta létező technológia, ami az 1990-es évek közepétől használatban van és minősége fejlődik. Azt követően, hogy S. Scott Crump 1989-ben szabadalmaztatott, szálhúzásos 3D-nyomtatójának szabadalma 2009-ben érvényességét veszítette (USA, Szabadalom száma: US5121329A, 1989), a 3D-nyomtatók egyre inkább a köztudatba kerültek, és az „átlag ember” számára is kifizethetőek lettek. A 3D-nyomtatott modellek legnagyobb előnye, hogy előállításuk olcsó, a kész modell szilárd és kemény, valamint az, hogy testreszabhatóak (Hasiuk & Harding, 2016). Én is szert tettem egy ilyen eszközre, majd – mivel régóta foglalkoztatnak a térképek és azok elkészítési folyamatai – térképészet és geoinformatika szakirányos hallgatóként az első dolgom az volt, hogy próbaképpen kinyomtassak egy földfelszínt ábrázoló makettet (egyelőre kis méretben). Az első kinyomtatott makettem a Dunakanyart ábrázolja, ennek alapjául pedig az SRTM digitális magasságmodell (DEM, *Digital Elevation Model*) magassági adatait használtam fel. Az adatokat feldolgoztam, egy STL fájlá alakítottam (ami

egy háromdimenziós testek leírására szolgáló fájlformátum), majd a 3D-nyomtató segítségével kinyomtattam. Az eredmény lenyűgöző, és máris az egyéb területeket ábrázoló makettek nyomtatása foglalkoztatott, valamint az, hogy mire képes még egy ilyen nyomtató.

A folyamat során szerzett tapasztalataim alapján úgy gondolom, hogy a folyamat végrehajtása nem igényelt túlzottan sok erőforrást és munkát, és alkalmas lehet különféle demonstrációs és oktatási célú (például egy domborzati forma szemléltetéséhez kinyomtattott) makett gyors előállítására.

A dolgozatom célja a digitális domborzatmodellből generált, háromdimenziós makett 3D-nyomtatóval való előállításának a részletes ismertetése, a folyamat gyakorlati bemutatása és a felhasználás lehetőségeinek ismertetése.

## 2. Használt szoftverek

Egy háromdimenziós makett számítógépen való elkészítése történhet többfajta, a piacon elérhető szoftverben is. Ezek lehetnek GIS (térinformatikai), várostervező, térképészeti, CAD és általános célú 3D modellező programok is (Zsoldi, 2016).

A dolgozatom során a következő szoftvereket vettem igénybe:

- QGIS Desktop (v3.8.3 Zanzibar): a legelterjedtebb nyílt forráskódú, multiplatform, ingyenes térinformatikai szoftver. A DEM feldolgozásához, a kinyomtatni kívánt modell határvonalainak megrajzolásához használtam.
  - DEMto3D plugin (v3.2): QGIS-plugin, amit Francisco Javier Venceslá Simón fejlesztett, a “Development of a module for 3D printing digital elevation models based on low cost system“ projekt keretében (Simón, 2014). A DEM-ből STL fájl generálására használtam.
- Autodesk Fusion 360: az amerikai Autodesk cég CAD rendszereinek és szoftvereinek egyike (Autodesk, 2020). Az STL fájl módosításához használtam.
- Blender (v2.81): ingyenes, nyílt forráskódú 3D modellező szoftver, amit szerteágazó modellező funkciói miatt több kisebb játékfejlesztő, animáció-készítő és modellező használ egyaránt (Blender, 2020). A Blendert csupán a dolgozatom illusztráló képek renderelésére használtam.
- Ultimaker Cura (v4.4): 3D-nyomtatáshoz készült, ingyenes, nyílt forráskódú, 3D-nyomtató- és szeletelő szoftver, amit eredetileg David Braam készített (aki később az egyik legnagyobb 3D-nyomtató gyártó, az Ultimaker munkatársa lett). Az elkészült STL modellek szeletelésére (rétegenkénti felbontására), és a CNC-gépek (jelen esetben a 3D-nyomtató) vezérlési és nyomtatási parancsainak (GCode/RS-274) generálására és továbbküldésére használtam.
- OctoPrint: ingyenes, nyílt forráskódú, 3D-nyomtatók vezérlésére szolgáló szoftver, amit Gina Häußge fejlesztett. Az OctoPrint telepíthető Windowsra, macOS-re és Linuxra is. Leggyakrabban Linux-alapú Raspberry Pi számítógépekre telepítik (ezt ajánlja a szoftver fejlesztője is). A dolgozat során használt 3D-nyomtató, webfelületen történő vezérlésére használtam.

A dolgozat megírása során szinte mindegyik szoftver kapott frissítést, de a dolgozatom reprodukálhatóságának és konzisztenciájának megtartása céljából nem frissítettem tovább a szoftvereket – a megjelölt verziókat használtam.

### 3. Modellezendő területek

A dolgozat során hat darab makettet készítettem el (figyelembe véve egy darab makett nyomtatásának idő- és anyagigényét). A hat darab modellből négy normál makett (tehát a domborzat egyszerű, nyomtatott makettje), az egyik egy szintvonalas, a hatodik modell pedig egy kirakós makett (puzzle). A szintvonalas és a kirakós makettek elkészítésével a makettnyomtatás egyéb felhasználásainak, lehetőségeinek bemutatása a volt célom. Az elkészített modellek által ábrázolt területeket két szempont alapján választottam meg. Az egyik szempont az volt, hogy az elkészített modellek a Kárpát-medence valamely szegletét ábrázolják (ez alól csak egy kivételt tettem). A másik, hogy kétfajta felszínformát is bemutassak: vízválasztót (domború forma) és vízgyűjtőt (homorú forma) egyaránt. Ez utóbbi bemutatásához az egyik legnevezetesebb szurdokvölgyet, a Grand Canyont választottam (a Grand Canyon Nemzeti Park Blacktail Canyon részét). A kiválasztott hat terület a következő:

- Tordai-hasadék: a jura korban lerakódott mészkőben lévő, karsztosodással és folyóvízi erózióval létrejött hasadék a Torockói-hegység északkeleti részén, melyen a Hesdát-patak folyik át (Tulogy, 1943).
- Tihanyi-félsziget: a Balatonba északról benyúló félsziget, ami a tavat két medencére osztja. A félsziget alapját a perm időszaki Balatonfelvidéki Homokkő, és a Pannon-tengerből származó üledékek (homok- és agyagrétegek) képezik; a félsziget fő morfológiai elemeit a felettük elhelyezkedő különböző vulkanikus képződmények alkotják (Uzsoki, 2008).
- Pelsőci-fennsík: a Gömör-Tornai-karszt része, mezozoikumi mészkőből kialakult karsztfennsík, melyet szurdokvölgyek (Sajó-, Csetnek-völgy) választanak el a szomszédos Szilicei- és Konyárt-fennsíktől (Telbisz, Móga, & Kósik, 2009).
- Grand Canyon: a Colorado folyó által kivájt szurdokvölgy az Amerikai Egyesült Államokban, Arizona államban. A meder oldalfalát többféle kőzet alkotja: az alapját metamorf kőzetek alkotják (Early Proterozoic Vishnu Group), a középső részén homokkő és agyagpala (Grand Canyon Supergroup), míg a felső részén főleg vöröses homokkő található (Paleozoic Strata) (USGS, 2020).
- Badacsony: 3,45 millió éves, bazaltsapkás tanúhegy a Balaton-felvidék nyugati részén; a Bakony–Balaton-felvidéki vulkáni terület része (Hencz, Karátson, Németh, & Biró, 2017). A tanúhegyek kialakulásában az erózió, a defláció (szélerózió) és lejtős tömegmozgások játszottak nagy szerepet.

- Dunakanyar: a Duna Börzsöny és a Visegrádi-hegység közötti szakasza, ahol folyásiránya nyugat-keletiről észak-délire változik. A Dunakanyar a pleisztocén korban keletkezett folyóvízi erózióval és kialakulásában jelentős szerepet játszottak a környező vulkáni formák (Karátson, 2014).

## 4. A nyers adatok feldolgozása

### 4.1 Vetület és optimális méret kiválasztása

A dolgozatban (a normál és szintvonalas modellek esetében) 150x150 mm méretű modellek készítését mutatom be. Ezt a méretet az általam használt 3D-nyomtató tárgyasztalának (angolul *bed*) mérete és az elkészítéshez szükséges idő és anyag figyelembevételével szabtam meg (a tárgyasztal mérete nem mindig kizáró ok, például, ha több darabból összeálló makettet készítünk – ez esetben nincs felső határa). A modellek vetülete szögtartó UTM (Universal Transverse Mercator) hengervetület, annak adott területre eső zónája. Azért választottam az UTM-et mindegyik modellhez, mert így konzisztens marad a vetület a modellek között. Az egyes modellek UTM-zónái az 1. számú táblázatban láthatóak. A túlmagasítás mértékét minden modellenél egyénileg szabtam meg, figyelembe véve a szemléletesség elvét.

1. táblázat: A dolgozat során elkészített modellek összefoglalója  
(terület, vetület, modellméret, túlmagasítás mértéke, modell típusa (N - normál, Szv - szintvonalas, P - puzzle), DEM-fájlok)

#	Terület	Modell vetülete	Méret [mm]	Túlmag.	Típus			DEM-fájl(ok)
					N	Szv	P	
1	Tordai-hasadék	UTM 35N (EPSG: 32635)	150x150	1,5x				n46_e023_1arc_v3.tif
2	Tihanyi-félsziget	UTM 33N (EPSG: 32633)		3x				n46_e017_1arc_v3.tif
3	Pelsőci-fennsík	UTM 34N (EPSG: 32634)		1,5x				n48_e020_1arc_v3.tif
4	Grand Canyon	UTM 12N (EPSG: 32612)		1x				n36_w113_1arc_v3.tif
5	Badacsony	UTM 33N (EPSG: 32633)		2x				n46_e017_1arc_v3.tif
6	Dunakanyar	UTM 34N (EPSG: 32634)	210x177	2x				n47_e018_1arc_v3.tif, n47_e019_1arc_v3.tif

### 4.2 DEM betöltése és előkészítése

A makettek elkészítéséhez adatforrásként a Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digitális magasságmodell (DEM, *Digital Elevation Model*), annak 1 szögmásodperces (kb. 30 méteres felbontású), globális változatát (SRTMGL1v003) használtam fel (NASA JPL, 2013). Az SRTM egy szemiglobális, raszteres adatmodell, mely a Föld szárazföldjeinek 80%-áról

tartalmaz magassági adatokat (északi szélesség 60° és déli szélesség 56° között). A felmérést két szervezet, a National Aeronautics and Space Administration (NASA) és a National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) az Endeavour űrrepülőgéppel végezte el, 2000. február 11. – 22. között. Az SRTM két felbontásban, 1 (kb. 30 méteres) és 3 szögmásodperces (kb. 90 méteres) felbontásban érhető el. A mért adatok sokszor hibával terheltek, ezek nagy részét a feldolgozás és utófeldolgozás során, az adatok interpolálásával kijavították. Az SRTM ingyenesen letölthető DTED, BIL és GeoTIFF formátumokban (USGS EROS Archive, dátum nélk.).

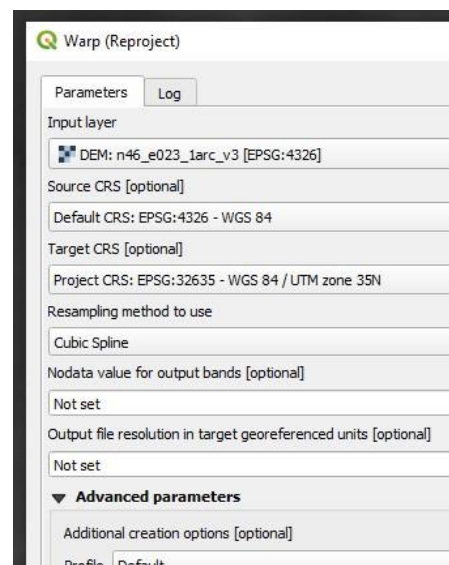
A dolgozatban felhasznált GeoTIFF formátumú fájlokat a United States Geological Survey (USGS) EarthExplorer webes felületéről töltöttem le (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). A DEM fájlok QGIS-be való betöltését és előkészítését a Tordai-hasadékot ábrázoló modellen mutatom be.

A QGIS projekt létrehozása és a kívánt projekt-vetület (UTM35, EPSG: 32635) beállítása után betöltöttem a letöltött GeoTIFF fájlt (jelen esetben n46\_e023\_1arc\_v3.tif). Amennyiben egy később kinyomtatni kívánt terület két vagy több .tif fájlra esik, szükséges a fájlok egy réteggé való összevonása (*Raster – Merge* eszköz).

Az SRTM vetülete WGS84 (EPSG: 4326), így első lépésként a szabályos négyzet alakú pixelméret céljából szükséges a DEM transzformálása a kívánt vetületbe. Ezt a *Raster – Projections – Warp (Reproject)* eszközzel végeztem el.

- *Source CRS*: a réteg eredeti vetülete. Az SRTM vetülete WGS84, így ezt kell megadni.
- *Destination CRS*: a kívánt vetület. Jelen esetben ez UTM35 (WGS 84 / UTM zone 35N) lesz.
- *Resampling method*: a vetületi transzformáció során használt újramintavételezési módszer. A spline interpoláció alkalmas nagymennyiségű (*grid*ben tárolt) adat minőségi elemzésére, és a rács (*grid*) felbontásának módosítására (Albert, 2018), ezért itt célszerű harmadfokú spline interpolációt (*Cubic Spline*) használni.

Az új, transzformált DEM réteg „Properties” menüjében leellenőrizhető, hogy a pixelméret valóban X és Y irányban is megegyezik, tehát négyzet alakú egy pixel az adott koordináta-rendszerben. A transzformált raster terepi felbontása az eredeti SRTM értékéhez közeli, kb. 30 m-es maradt.



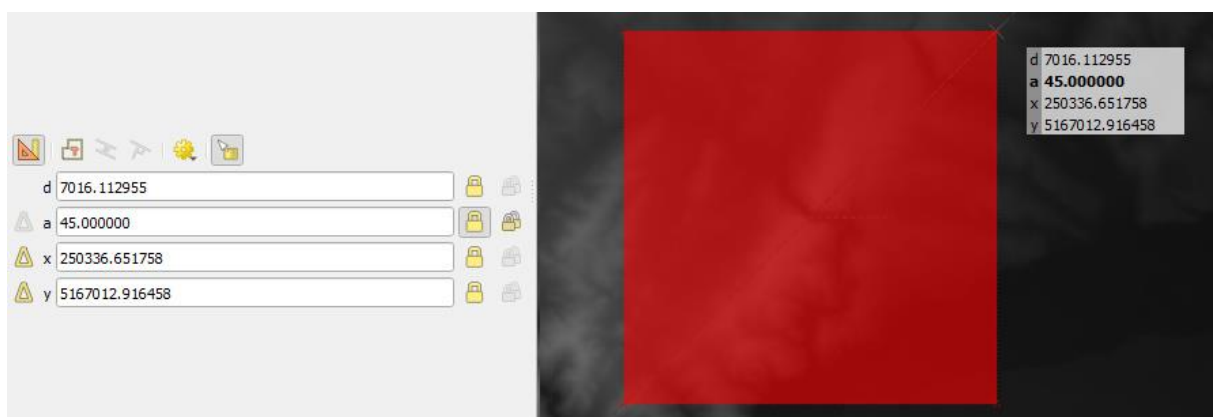
1. ábra: A Warp (Reproject) eszköz paramétereit QGIS-ben



*Megjegyzés:* a transzformált DEM fájlt érdemes a *SAGA – Raster tools – Resampling* eszközzel úgy újramintavételezni, hogy a pixelméretet egészre kerekítjük. Így, a későbbi „vízfelületek korrigálása” művelet során (lásd 4.3 fejezet) a SAGA az értékek kerekítése miatt nem fog hibázni, és nem jelenik meg rácsháló-anomália az adatunkban. Ehhez az eszköz paramétereiben meg kell adni a már transzformált, UTM35-ös DEM réteget, b-spline interpolációt használni, a kívánt pixelméret (*cellsize*) kerek szám, pl. 27, valamint a *Fit* paraméter *cells* legyen. Az új raszter pixelmérete 27x27.

A kinyomtatni kívánt modell határát egy “modellhatár” nevű, poligon típusú shape réteggel rajzoltam meg (ez megtalálható a *01\_tordaihasadek.gpkg* GeoPackage fájlban). A megrajzolásához érdemes bekapcsolni a *Shape Digitizing* és *Advanced Digitizing* eszközpaneleket (*View – Toolbars – Shape Digitizing* és *Advanced Digitizing*). Ezek segítségével szabályos négyzet alakú modellhatárt tudunk kialakítani. A *Shape Digitizing* eszközsoron aktiváljuk az *Add Rectangle from Center and a Point* eszközt (ezzel az eszközzel úgy rajzolhatunk meg egy szabályos poligont, hogy először a középpontra, majd a négyzet egy sarokpontjára kattintunk), majd a narancssárga és sárga vonalzókat ábrázoló eszközzel aktiváljuk az *Advanced Digitizing* panelt. A középpont elhelyezése után az *Advanced Digitizing* eszközpanelen adjuk meg az *a* szöveget (45°), majd a kis lakat ikonra kattintva lezárjuk ezt, tehát nem fog változni. Ezzel azt érjük el, hogy az általunk rajzolt poligon mindig négyzet lesz (tehát minden oldala egyenlő hosszú lesz), bárhova is rakjuk le a sarokpontot. Mivel négyzet alakú modelleket szeretnénk legyártani, ez egy fontos lépés. A poligon jobbegérgombbal való létrehozása után mentjük el a réteget.

A poligont felhasználhatjuk az STL fájl generálásánál (lásd 4.4 fejezet).



2. ábra: *Advanced Digitizing* panel QGIS-ben: a szabályos négyzet alakú terület kijelöléséhez szükséges az alfa szög megadása és zárolása

### 4.3 Vízfelületek korrigálása

Ha a modell területén nagyobb vízfelület (például a Balaton) kap helyet, előfordulhat az, hogy a későbbi szeletelés során (lásd 5.3-as fejezet) és a kinyomtatott maketten a vízfelület határa nem ott húzódik majd, ahol azt az átlag térképolvasó megszokta. Bár az SRTM modellen a vízfelületek és azok magassági értékei helyesek, a szeletelés során beállított rétegmagasság (ami jelen esetben 0,2 mm lesz) miatt pár méteres magasságkülönbségnél (olyan parton, ami nem emelkedik több métert közvetlenül a partvonal mellett), korrigálás nélkül a kész maketten látszólag egybemosódhat a tó és a szárazföld, mivel a két felület között csupán egy réteg magassága tesz különbséget (0,2 mm). A korrekcióhoz a QGIS-ben lévő raszter kalkulátort használtam, mellyel 10 métert kivontam a DEM modell magassági értékeiből azokon a helyeken, ahol a Balaton poligonja elhelyezkedik (ez a mennyiség változó lehet). A vízfelületek korrigálása után a makett szemléletesebb lett. Ez a jelenség három makettet érint a dolgozatban: a Badacsonyt, a Tihanyi-félszigetet és a Dunakanyart.

A vízfelületek poligonjait Farbinger Anna “Magyarország vektoros adatbázisának felújítása” c. munkájának adatbázisából használtam fel (Farbinger, 2017). A korrigálási folyamatot a Tihanyi-félszigetet ábrázoló modellen mutatom be, de elvégeztem a Badacsonyt és a Dunakanyart ábrázoló modelleken is.

Legelőször a vízfelületek poligonjainak QGIS-projektbe való importálása történik meg (nagytavak\_uj.shp). A nagytavak\_uj shape réteg vetülete EOVI, ezért mivel a makettek végső vetülete UTM lesz, át kell transzformálni a vektoros réteget (*Vector – Data Management – Reproject layer*) UTM-be (jelen esetben UTM 33-ba).

Mielőtt a raszter kalkulátorhoz nyúlnék, a nagytavak\_uj vektoros réteget át kell alakítani raszteressé. Ehhez a poligonnak (jelen esetben a Balatonnak) meg kell adni egy új attribútumot, ami által lesz egy azonosítója (amit a raszterizálás során megadunk). Az attribútumtáblában létrehoztam egy új *Integer* (egész szám) típusú mezőt (jelen esetben calc), majd megadtam a Balaton calc mezőjének egy 1-es értéket (ez lehet bármilyen szám). A raszterizálás (*Raster – Conversion – Rasterize (Vector to Raster)*) paramétereinél először meg kell adni a mezőt, ami alapján azonosítja a poligont (*field to use: calc*). Az azonosított poligon helyén a raszterizáló minden adatpontnak egy értéket ad majd meg (*value to burn: jelen esetben 1*). A kimeneti raszter pixelméretének (*output raster size units*) érdemes a már újramintavételezett DEM pixelméretét megadni georeferált egységekben (*georeferenced units*) (jelen esetben 27). A generált raszteren a Balaton helyén lévő értékek 1-et kaptak, míg a szárazföldre eső helyeken nincs adat (*no data*) – ezt érdemes a felső azonosítókurzorral (*Identify Features*) leellenőrizni.

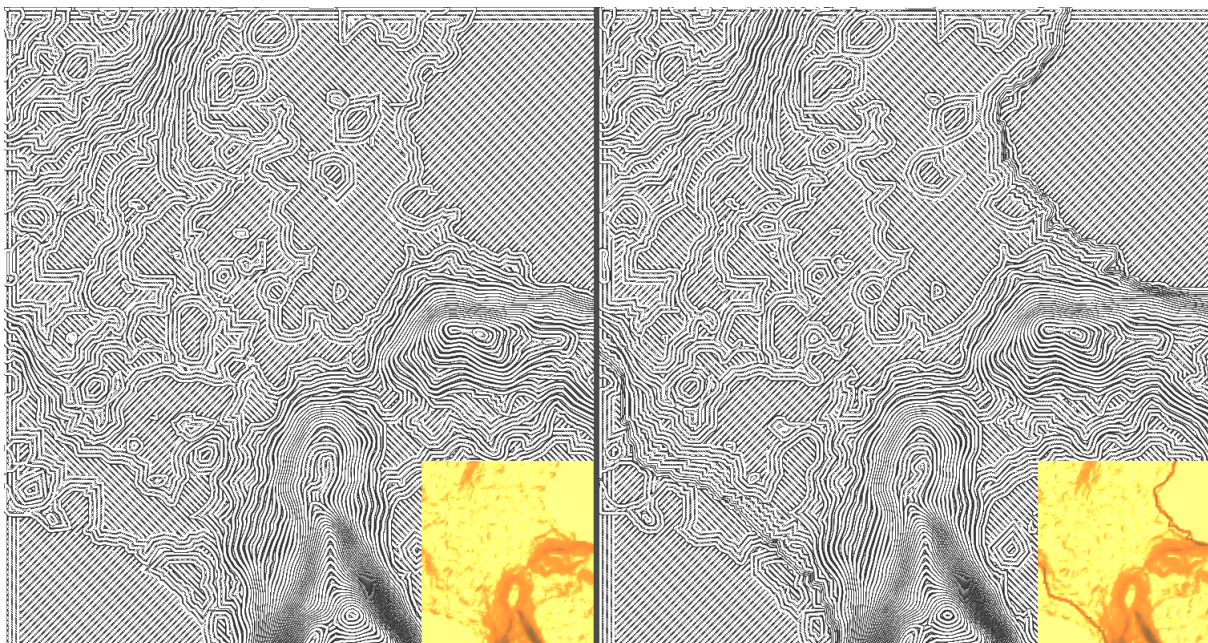
A raszterizált Balaton réteggel és a DEM réteggel már használható a raszter kalkulátor egy adott magassági érték kivonásához. A művelethez a következő képletet használtam (ahol a képletben szereplő "DEM" a jelenleg használt, újramintavételezett DEM raszter, a „Raszterizaltpoligon” pedig jelen esetben a raszterizált Balaton réteg):

```
"DEM@1" - (("Raszterizaltpoligon@1" = 1) * 10)
```

A képlet kivon a DEM minden egyes olyan adatpontjából 10 métert, ahol a raszterizált Balaton poligon elhelyezkedik. Az eredmény egy raszter lesz, amelyen a Balaton helyén 100 m helyett 90 métert olvasunk le (az azonosítókurzossal (*Identify Features*) ugyancsak ellenőrizendő).

Végző lépésként egybevettem az új, kivont rasztert és a DEM-et a SAGA *Mosaic raster layers* eszközével. Mivel a két raszter pixelmérete megegyezik, nincs szükség további interpolációra, de az eszköz nem fut le az interpoláció módszerének megválasztása nélkül. Harmadfokú spline interpolációt választottam, a két raszter egymást fedő részein (*overlapping areas*) a kisebb (jelen esetben a 100 helyetti 90) értéket szeretném kapni (*minimum*), a pixelméret (*cellsize*) a többi rétegen is használt 27, a *fit* paramétert pedig *cells*-re állítottam. A folyamat végrehajtása után kaptam egy egybevonat raszteres réteget, melyen a Balaton helyén 90 méteres értékek szerepelnek (az azonosítókurzossal (*Identify Features*) ellenőrizendő).

A mellékelt rétegnézeti ábrán (3. ábra) jól látszik, hogy a korrigált modellen a partvonalat több réteg alkotja (melyek mindegyike 0,2 mm-rel magasabban van), így a makett szemléletesebb lesz.



3. ábra: Az eredeti modell (balra) és a korrigált modell felszetelevelve (jobbra). Felülnézeti ortografikus rétegnézet Ultimaker Cura-ban, a Tihanyi-félsziget északnyugati részét ábrázolva. A jobb alsó sarokban egy megvilágított, plasztikus nézet látható, amin az árnyékoknak köszönhetően szépen kirajzolódik a változás.

## 4.4 STL fájl alakítás

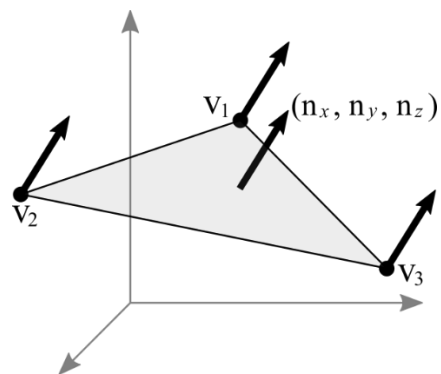
Az .STL (az angol “stereolithography” (sztereolitográfia) rövidítése, nevezik még “Standard Triangle/Tessellation Language“-nek is (Grimm, 2004)) egy szabványos, CAD szoftverekben használt fájlformátum. Az STL formátumot Chuck Hull és cége, a 3D Systems fejlesztette ki (National Inventors Hall of Fame, 2020). Ebben a fájlformátumban a térbeli testek csomópontjai egy Descartes-féle koordináta-rendszerben vannak megadva (X, Y és Z tengelyeken), és a csomópontok által kialakított felületek pedig háromszögek (Allplan, 2020). Minél több a csomópont, annál kisebbek ezek a háromszöglapok (angolul *face* vagy *facet*) és pontosabb a közelítés (tehát részletesebb a modell). Az STL fájl lehet ASCII-kódolású és bináris. A nyers ASCII-alapú STL fájl mérete bonyolultabb modellek esetében nagy méretű lehet, így ezeknél érdemes a bináris STL formátumot használni. Mindkét formátum tartalmazza a csomópontok koordinátáit és a csomópontok által kialakított háromszögek felületét érintő sík normálvektorát (ez adja meg, hogy a háromszögek melyik oldala a modell külső, tehát a pozitív oldala) (Chakravorty, 2019).

ASCII-kódolású STL fájl szerkezete:

```
solid name

facet normal  $n_x$   $n_y$   $n_z$ 
  outer loop
    vertex  $v1_x$   $v1_y$   $v1_z$ 
    vertex  $v2_x$   $v2_y$   $v2_z$ 
    vertex  $v3_x$   $v3_y$   $v3_z$ 
  endloop
endfacet

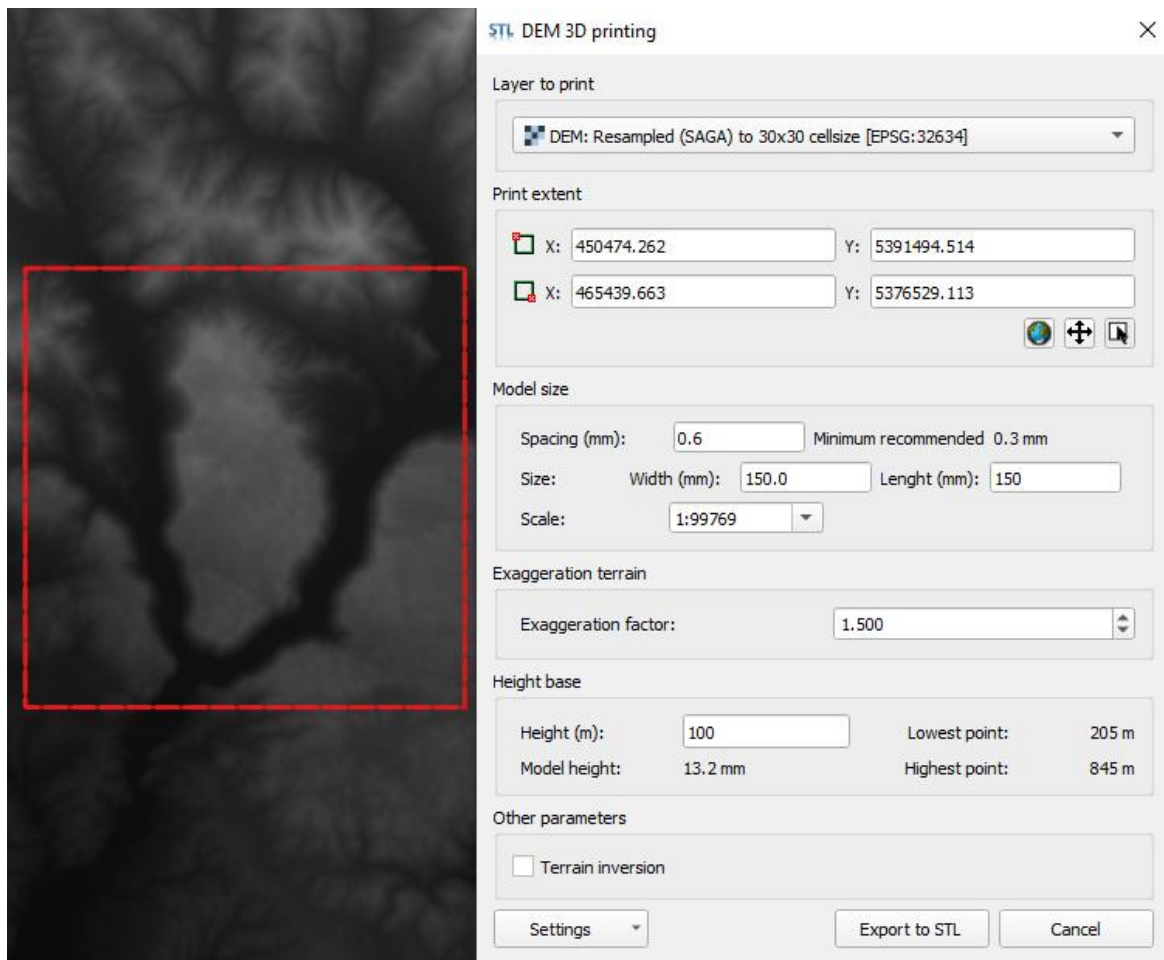
endsolid name
```



4. ábra: Egy háromszög felület normálvektora, Forrás: OpenGL Normal Vector Transformation (Song Ho Ahn), [http://www.songho.ca/opengl/gl\\_normaltransform.html](http://www.songho.ca/opengl/gl_normaltransform.html)

A domborzatmodell részletének bináris STL fájlra való alakítását a Pelsőci-fennsíkot ábrázoló modellen mutatom be.

A DEMto3D QGIS-plugin telepítése után a plugin a *Raster – DEMto3D* menüben érhető el. A felugró ablakban több fontos paraméter és opció állítható be, amely mindegyike befolyásolja majd az STL fájl milyenségét:



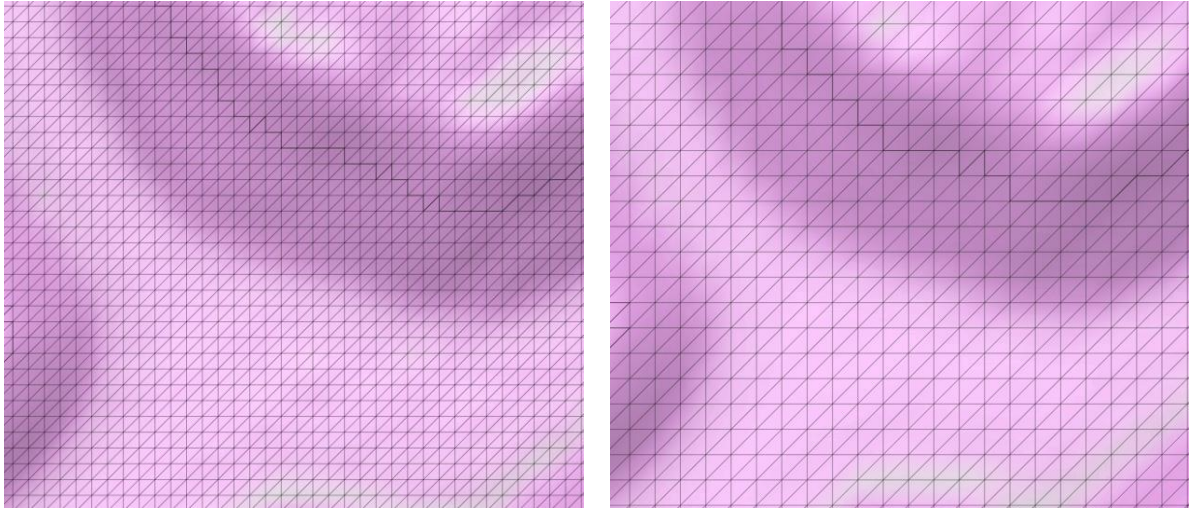
5. ábra: A "modellhatár" rétegen kijelölt terület (balra) és a DEMto3D QGIS-plugin paramétereit (jobbra)

*Layer to print:* a réteg, amelyből a plugin STL fájlt generál (jelen esetben az újramintavételezett DEM-ből).

*Print extent:* a kiterjedés (modellhatár) sarokpontjainak koordinátái. Ezt automatikusan megadhatjuk teljes kiterjedés szerint (földgömb ikon), egy adott rétegekiterjedés szerint (szerteágazó nyílak / elmozgató kurzor ikonja), valamint egy megrajzolt kiterjedés szerint (kis négyzeten lévő kurzor ikon). Jelen esetben érdemes rétegekiterjedés szerint megadni, a korábban létrehozott *modellhatár* poligon típusú réteget felhasználva.

*Model size:* a modell részletességére és végső méreteire vonatkozó adatok.

- *Spacing (mm):* az STL modellt alkotó, egyes háromszögek befogóinak hossza. Minél kisebb ez a szám, annál részletesebb lesz a modell, viszont, ha nagyon kicsi ez a szám, a fájl mérete nagyon nagy lesz (0,2 mm-es Spacing érték akár 100 MB-os, vagy annál nagyobb STL fájlt is generálhat). A Pelsőci-fennsík modelljénél 0,6 mm-es Spacing értéket használok.



6. ábra: DEMto3D Spacing: a modellnél használt 0,6 mm-es (balra) és a kevésbé részletes és nem ajánlott 1 mm-es Spacing érték (jobbra) (összehasonlítás). A kivágaton a fennsík déli része látható árnyékolt domborzattal.

- *Size (width, length, mm)*: a modell valós mérete, milliméterben (ha ezt adjuk meg először, a méretarány automatikusan megjelenik). Jelen esetben 150x150 mm-es makettet készítek.
- *Scale*: a modell méretaránya (ha ezt adjuk meg először, a modell mérete automatikusan megjelenik). A beállított értékekkel 1:99 769-es méretarány adódik (~1:100 000).

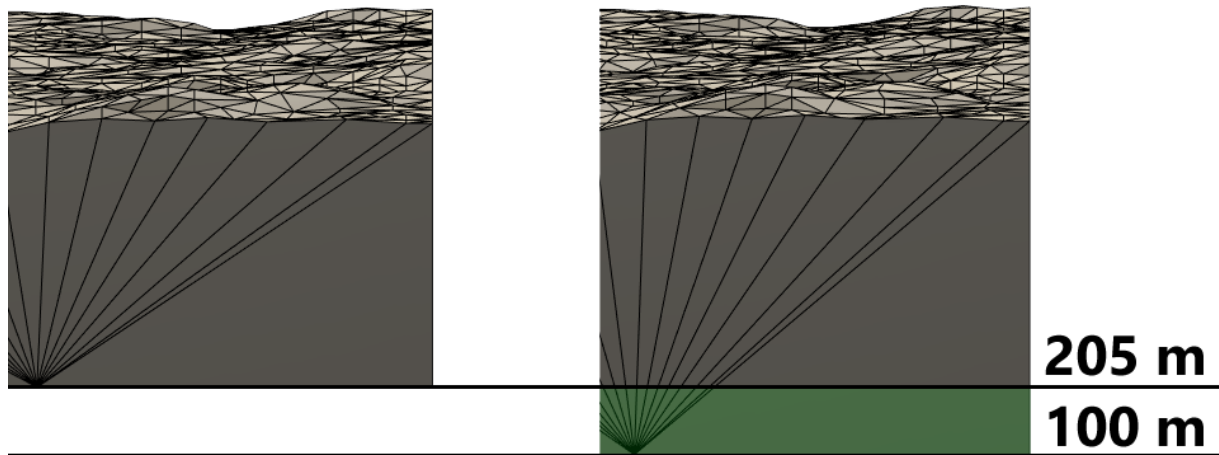
*Exaggeration factor*: túlmagasítási együttható (szorzó). A Pelsőci-fennsík esetében 1,5-öt adtam meg, mert így szemléletesebbek lesznek a karsztfennsík apró magasságkülönbségei.

*Height base*: a plugin megmutatja a területre eső legmagasabb és legalacsonyabb pontot (méterben), valamint a Height (magasság) megadása után itt láthatjuk a makett tényleges magasságát (milliméterben).

- *Height (m)*: méterben adhatjuk meg azt a magasságot, ami az STL modell alapjául szolgál. A dolgozat során a modell oldalfalába mélyíték szöveget (lásd 4.5-ös fejezet), így itt érdemes a legalacsonyabb magasságnál kisebb számot megadni – jelen esetben, a Pelsőci-fennsíkot ábrázoló modellnél a legalacsonyabb magasság 205 méter, ezért 100 métert adtam meg. Ennek köszönhetően a modell oldalfalának magassága lehetővé teszi majd a szöveg bemélyítését. Ha később nem módosítjuk az oldalfalat, itt érdemes a területre eső legalacsonyabb magasságot megadni (ez esetben sem kell attól tartani, hogy a makett fizikailag gyengébb lesz vagy eltörik – a plugin automatikusan generál egy pár milliméter alapot a makettnek, hogy ez biztosan ne történjen meg).

*Terrain inversion*: az opció segítségével domborzat invertált lesz (pl. egy hegy mélyedésként jelenik majd meg az STL fájlban). Erre nem volt szükség a jelen munka során.

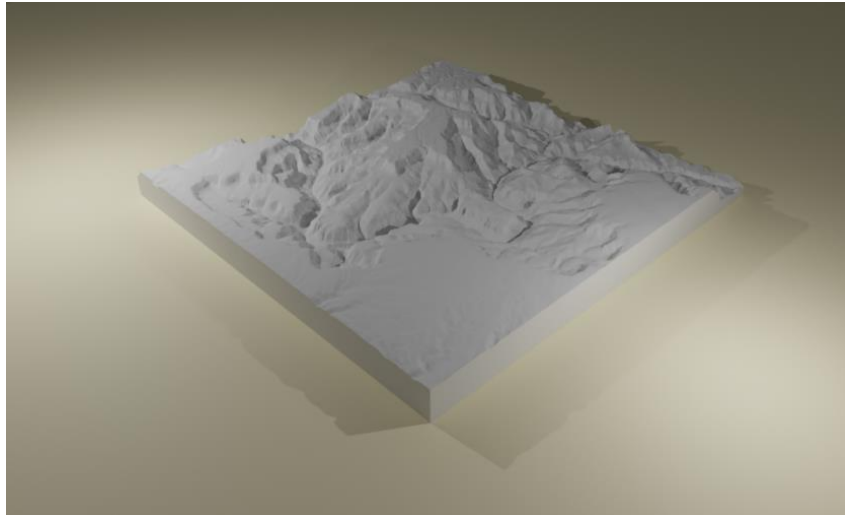
A DEMto3D plugin lehetővé teszi, hogy a megadott paramétereket elmentsük és későbbi használat esetén az elmentett beállításokat visszatöltsük (*Export / Import Settings*). Az általam generált STL fájlok mérete ~53 MB.



7. ábra: DEMto3D Base height: 205 m alappal készült (balra) és 100 m alappal készült modell (jobbra). A zöld színű felülettel lesz magasabb az oldalfal. A két modell-részlet azonos méretarányban, oldalnézetben látható.

#### 4.5 Az STL fájl opcionális módosítása

A DEMto3D plugin által generált STL modell alaphelyzetben már nyomtatható, viszont a nyomtatás előtt tovább módosítható és testreszabható bármilyen CAD (pl. az Autodesk CAD szoftverei), háromdimenziós modellező/grafikai (pl. Blender) vagy STL-módosító programban (pl. Autodesk Meshmixer). A 3D-modelleken végzett módosítás általánosan lehet egy egyszerű felület irányvektor szerinti bemélyítése/kiemelése (extrudálása), vagy akár egyenkénti vagy csoportos csomópont-átrendezés is (csomópontok, élek és lapok igazítása), pl. (Zsoldi, 2016).



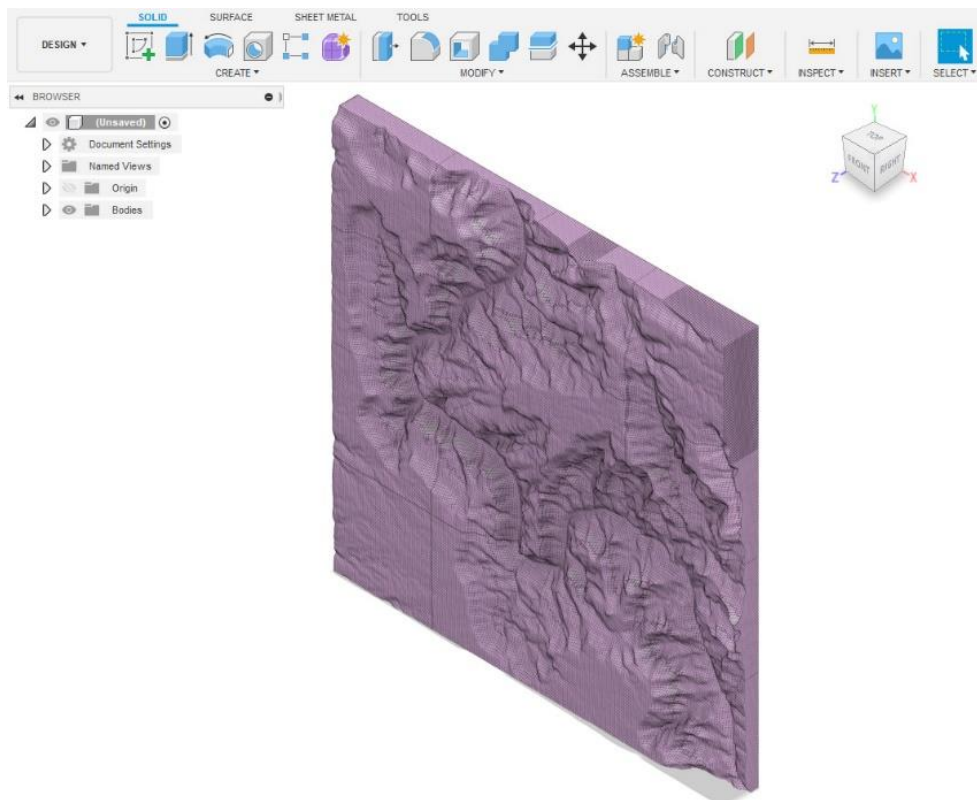
8. ábra: A Blacktail Canyont ábrázoló, generált STL modell, Blenderben (két fényforrást használva)

Ebben az alfejezetben a 4.4-es fejezet során generált STL modellek oldalfalába szöveg vagy felirat bemélyítését részletezem. Ezt a folyamatot Autodesk Fusion 360 segítségével teszem meg. Úgy gondolom, hogy a szöveg elhelyezésére a modellen az oldalfalba mélyítés a legmegfelelőbb hely, mert így nem nyúlunk hozzá a tényleges térképi adathoz a modell felső oldalán (ha nagyobb vízfelület, például a Balaton látszik a maketten, az ebbe való mélyítés is alternatíva lehet). Ezzel a módszerrel a kinyomtatni kívánt térképrészleten meg tudjuk jeleníteni például a címet (milyen területet ábrázol), méretarányt, túlmagasítás mértékét, legmagasabb pont magasságát, egyéb területi jellemzőt, tájolást, alapszintközt vagy bármilyen szöveget és adatot (pl. a kolofont – készítő neve, gyártási dátuma stb.). Az ilyen bemélyítést a nyomtatás után akár ki is lehet festeni (pl. akril festékkel), hogy a felirat jobban látszódjon.

A folyamatot a Grand Canyon Blacktail Canyon részletén mutatom be, és a bemélyített szöveg ezúttal a terület neve, a méretarány, a túlmagasítás mértéke és a tájolás.

Az Autodesk Fusion 360-ban egy új projekt nyitása után importáljuk az STL fájlt: „Solid” munkafelületben az *Insert – Insert Mesh* paranccsal betölthetjük a fájlt, majd betöltés után jóváhagyjuk (OK). Ezzel a modellünk Mesh típusú testként került be a projektbe.

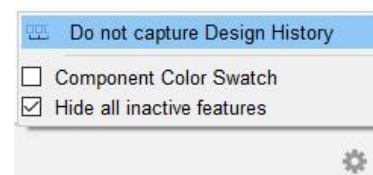




9. ábra: A behívott mesh-modell, Autodesk Fusion 360-ban

A behívott modell egyelőre *mesh* típusú, ami annyit jelent, hogy a szoftver csupán a nyers háromszögrácshálót (csomóponthálót) jeleníti meg, és nem kezeli szilárd testként (így nem tudunk vele műveletet végrehajtani, jelen esetben bemélyíteni sem). A Fusion-ben a szilárd test *BRep* típusú, ami a csomópontok között kialakított lapokra bontott, már kezelhető szilárd test, aminek lapjaiból tudunk extrudálni (kiemelni és bemélyíteni) (Autodesk, 2020).

*Megjegyzés:* a következőkben használt *Mesh to BRep* funkció csak akkor működik, ha kikapcsoljuk a *Design History* funkciót: a jobb alsó sarokban lévő kis fogaskerék ikonra kattintva tehetjük meg. A *Design History* lehetővé teszi, hogy egy korábbi lépés paramétereit változtassuk (ilyenkor minden egyes korábbi változtatásnál újraszimulálja az időben utána következő változásokat) anélkül, hogy visszalépnénk az *Undo* segítségével. Ez a funkció egyébként sem releváns, ha egy szimpla, pár lépésből végrehajtható bemélyítést szeretnénk elvégezni.

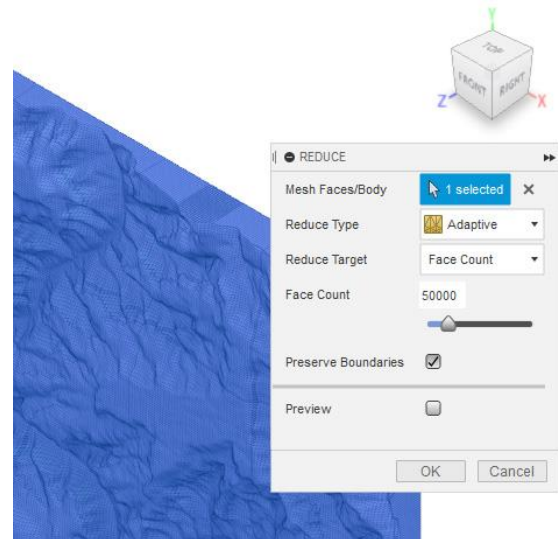


10. ábra: *Design History* funkció kikapcsolása

Ahhoz, hogy a modellt a szoftver *BRep*-pé (tehát síklapokra bontott, a szoftver által laponként kezelhető, szilárd testté – angolul „solid”) tudja alakítani, redukálni kell a *mesh*-modellt úgy, hogy legfeljebb 50000 lappal (*face*) rendelkezzen (ez az átalakítás felső határa Fusion-ben, e felett már nem hajtja végre a szoftver a *Mesh to BRep* parancsot). A DEMto3D plugin egy rács

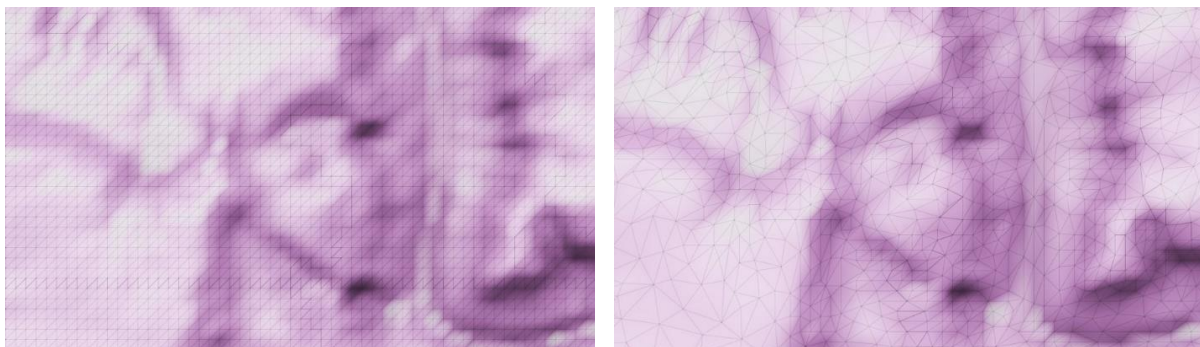
alapú mintavételezés-szerűen generálja le a modell csomópontjait a DEM-ből, tehát nem veszi figyelembe a DEM jellegét (pl. a laposabb domborzatnál is ugyanannyi lappal számol, mint a nagyobb részletességet kívánó, nagyobb magasságkülönbségekkel rendelkező domborzatrészletnél). A plugin által generált STL modell ennek köszönhetően akár 200–300 ezer lappal is rendelkezhet: a helytakarékoság és a számítógép terhelésének csökkentése érdekében is megéri redukálni a modell méretét.

A redukáláshoz első lépésként át kell váltanunk „Mesh” munkafelületre (a fenti eszközkészleten, vagy jobbgomb a MeshBody1-en és Edit), majd ott a *Modify – Reduce* eszközzel csökkenthetjük a lapok számát. Mielőtt a redukció paramétereit beállítanánk, kattintsunk a behívott mesh modellünkre (Bodies/MeshBody1). Célszerű adaptív redukálást alkalmazni, hogy a részletesség a legkevésbé csökkenjen (a laposabb felületeket próbálja minél kevesebb lapból összeállítani, míg a nagyobb magasságkülönbséggel rendelkező



11. ábra: A Reduce parancs paramétereit

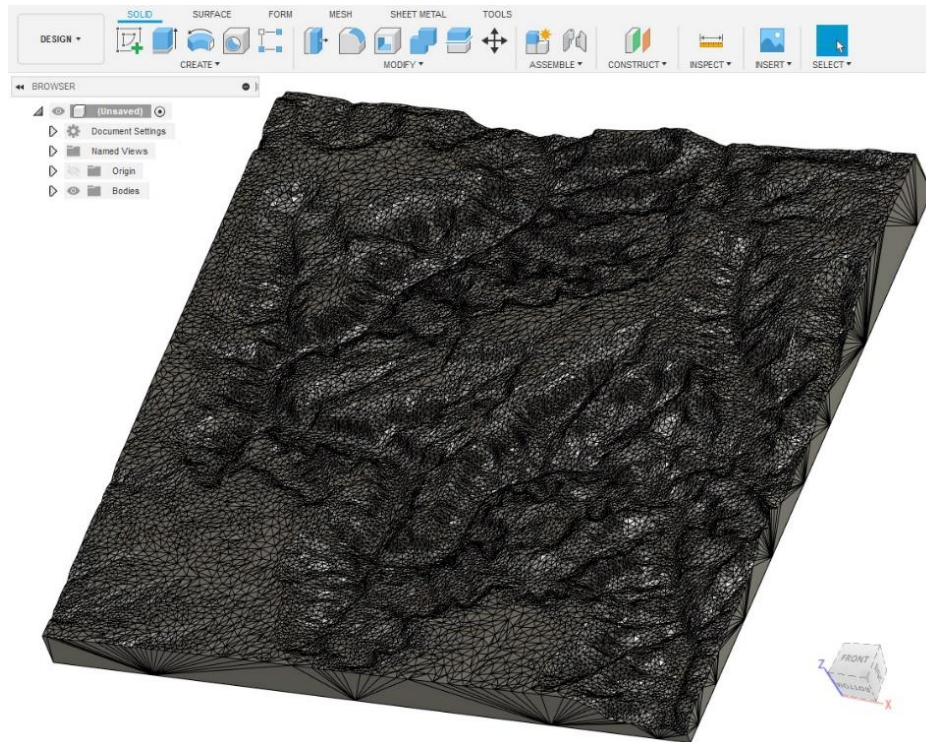
területen többet hagy meg), valamint a kívánt lap-szám (*Face Count*) alapján redukálni (állítsuk be 50000-re). A *Preserve Boundaries* opció segítségével a modell határvonalai megmaradnak, így a 150x150 mm-es modellünk mérete nem változik majd. A jóváhagyás után a folyamat időtartama a számítógépünk teljesítménye függvényében változik. A *Finish Mesh* paranccsal lépünk ki a „Mesh” módból.



12. ábra: Ugyanazon terület a mesh modell redukálása előtt (balra) és után (jobbra)

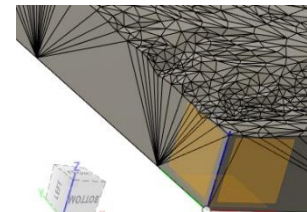
*Mesh to BRep*: a „Solid” munkafelületben a modellre jobbkattintás után megnyíló menüben a *Mesh to BRep* funkcióval végezhetjük el a konvertálási folyamatot. A jóváhagyás után a szoftver rákérdez, hogy tényleg szeretnénk-e a folyamatot végrehajtani. A folyamat időtartama

a számítógépünk teljesítménye függvényében változik: nagy teljesítményű számítógépen kb. 5–10 másodperc, gyengébb PC-n fél, vagy akár egy percig is eltarthat. Látszólag nem történik nagy a változás, de most már minden egyes háromszögre rá lehet kattintani és külön lehet kezelni azokat (pl. kiemelni vagy bemélyíteni) (Autodesk, 2020).



13. ábra: A BRep-pé konvertált modell

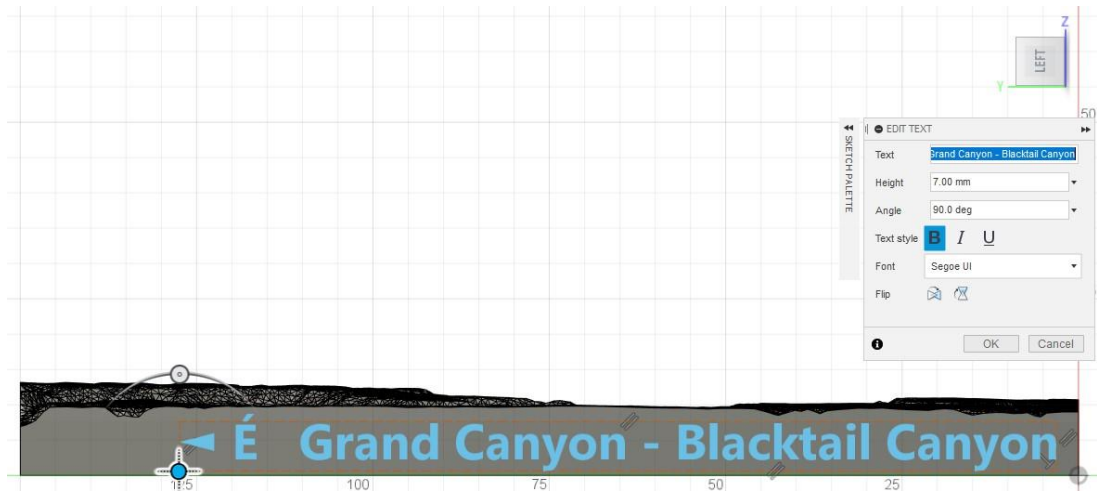
A szöveg bemélyítése már a „Solid” munkafelületben kezdődik: ehhez egy új *Sketch* réteget kell létrehozni (a *Create - Create Sketch* eszköz segítségével). A koordinátarendszer origójában megjelenő négyzet lapokra kattintva eldönthetjük, melyik síkon szeretnénk létrehozni a *Sketch* rétegeket: az oldalfalba történő bemélyítéshez szükség van egy *Sketch* rétegre az *XZ*, egyre pedig az *YZ*-síkon (angolul *plane*). Lehetséges, hogy a négyzet lapokra való kattintáshoz a modell láthatóságát ideiglenesen ki kell kapcsolni.



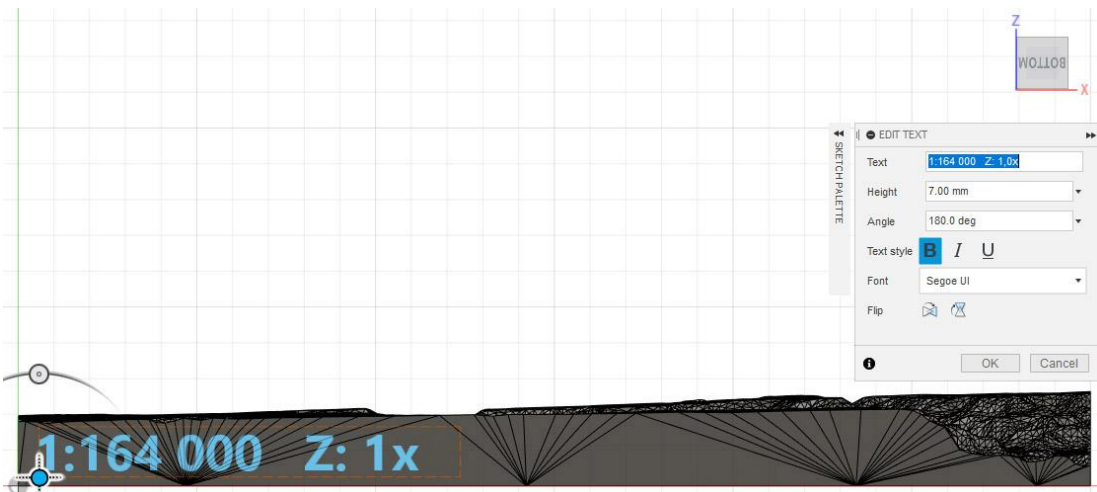
14. ábra: *Sketch* létrehozása – a három választható sík

Az egyik újonnan létrehozott *Sketch* rétegünkön jobbkattintás után az *Edit Sketch*-re kattintva szerkeszthetjük azt. Ebben a módban a felső *Create* eszközsorból szöveget a *Text* eszközzel tudunk létrehozni. A szöveg betűtípusa, mérete és egyéb paramétereinek beállítása mellett (pl. félkövér, dőlt és aláhúzott), helyezük el a szöveget, ha szükséges, forgassuk is el (a forgatás mértéke fokban megadható a *Text* eszköz paramétereiben). Ha elégedettek vagyunk az eredménnyel, hagyjuk jóvá a szöveg szerkesztését, majd a *Finish Sketch* segítségével kilépünk

a szerkesztési módból. Ismételjük ezt mindegyik síkra, amelyen szöveget szeretnénk bemélyíteni a modellbe.



15. ábra: Az YZ síkon elhelyezett szöveg (ábrázolt terület) és paraméterei, Sketch módban



16. ábra: Az XZ síkon elhelyezett szöveg (méretarány, túlmagasítás) és paraméterei, Sketch módban

A szöveg bemélyítéséhez a „Solid” munkafelületben elérhető *Extrude* (kihúzás) eszközre lesz szükség. Az *Extrude* eszköz paramétereinek megadása előtt kattintsunk a szövegre (ezzel kijelöljük a felületet – jelen esetben szöveget –, amit kiemelni vagy bemélyíteni szeretnénk), utána adjuk meg a bemélyítés mértékét (*Distance*):

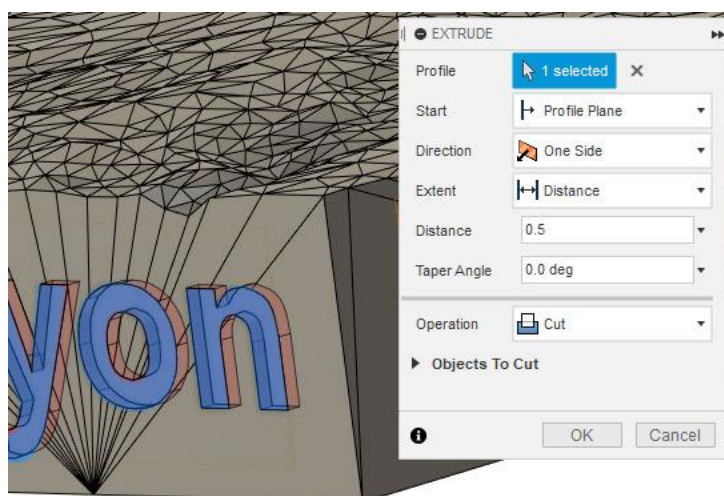
- ha a modell, a koordináta-rendszer origójánál lévő sarkához, a két oldalfalba szeretnénk szöveget mélyíteni:
  - az XZ síkon lévő szöveget Y irányba 0,5 mm-t,
  - az YZ síkon lévő szöveget X irányba 0,5 mm-t mélyítjük be.
- ha a túloldalra, tehát a koordináta-rendszer origójától legtávolabb eső két oldalfalba szeretnénk szöveget mélyíteni, akkor vissza kell lépni a szöveg szerkesztésébe (jobb gomb a Sketch-en és *Edit Sketch*, majd jobb gomb a szövegre, *Edit Text*), és

horizontálisan meg kell fordítanunk a szöveget (*Horizontal Flip* gomb). A bemélyítést ebben az esetben egy eltolt síkról kell végrehajtani, mégpedig úgy, hogy az Extrude paramétereinél a *Start* (tehát a kiindulópont) nem *Profile Plane*, hanem *Offset Plane* lesz. A megjelenő *Offset* paraméterhez (eltolás mértéke) adjunk meg 150 mm-t (ezzel a kiindulási pont átkerül a modell túloldalára). Innentől a szoftver ettől a ponttól számolja a bemélyítés mértékét (*Distance*), tehát a bemélyítés mértéke negatív előjelet kap majd:

- az XZ síkon lévő, a modell túloldalára eltolt szöveget Y irányba -0,5 mm-t,
- az YZ síkon lévő, a modell túloldalára eltolt szöveget X irányba -0,5 mm-t mélyítjük be.

A bemélyítés mértéke testreszabható, de figyelembe kell venni a nyomtató minimális nyomtatási részletességét és a nyomtatott kész termék várható minőségét is (például, ha 5 millimétert mélyítenénk be, lehet, hogy a 3D-nyomtatónak nehéz dolga lesz a rétegek minőségi és szép felépítésével). A szövegméret és betűtípus hasonlóan testreszabható, de ugyancsak nem érdemes túl kis méretű, szűk vagy elvékonyuló betűtípusokat használni, mert extrém esetekben akár olvashatatlaná is válhat a bemélyített szöveg a modellen. Az általam elkészített modelleknél 0,5 mm-es bemélyítéssel, félkövér Segoe UI betűtípussal és 7 mm-es betűmérettel dolgoztam.

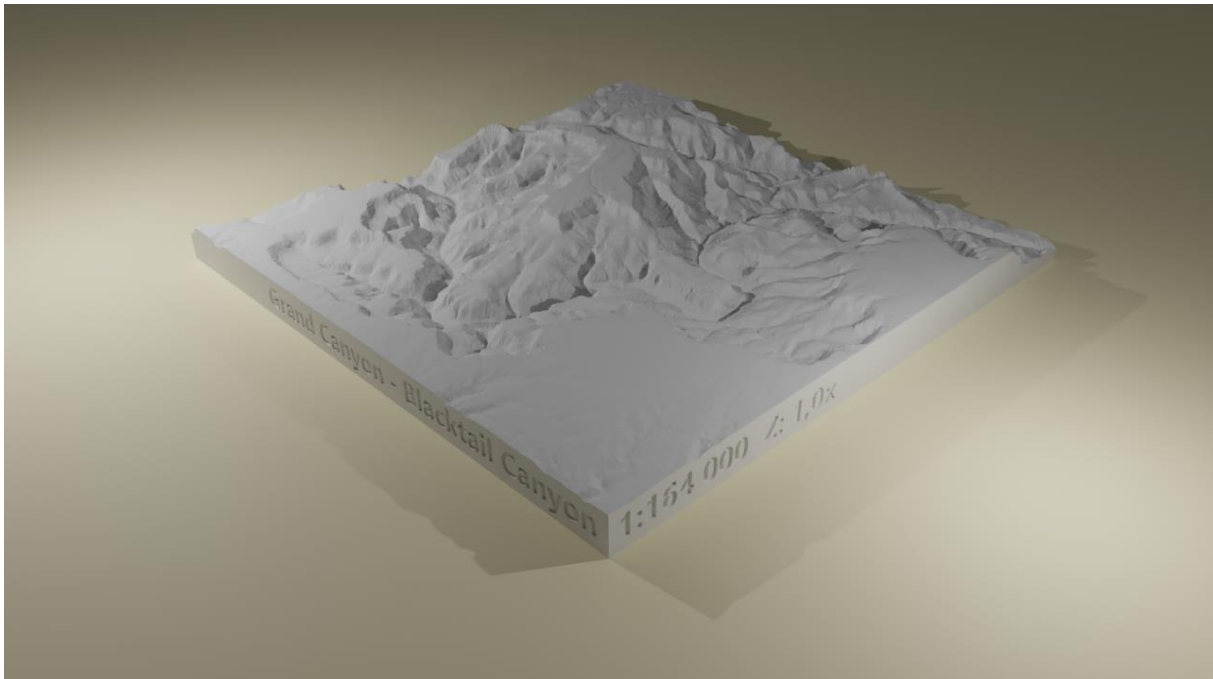
Az *Extrude* eszköz fontos paramétere az *Operation*, ami azt dönti el, hogy a modellből a szoftver kivágja (*Cut*, bemélyítésnél), vagy pedig a modellhez hozzáadja (*Join*, kiemelésnél) a szöveget. Ezt a szoftver automatikusan megállapítja, de érdemes ellenőrizni, hogy az történik-e, amit valóban tenni szeretnénk (ha mélyítünk, a piros szín mutatja azt a részt, ami el fog veszni a testből, a kék pedig azt, amit a kiemelés során felépít és hozzáad majd a testhez).



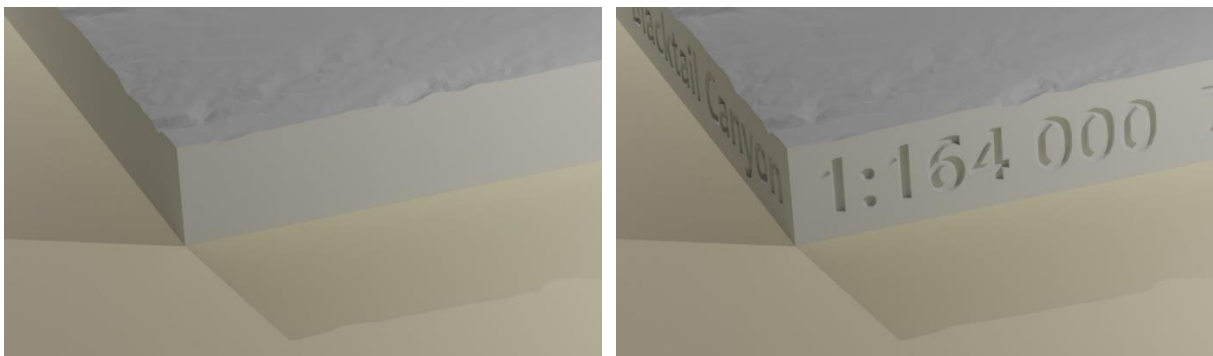
17. ábra: Az YZ síkra bemélyítendő szöveg és az Extrude paramétere

Jóváhagyás után megtörténik a bemélyítés. A leírt folyamat alkalmas szöveg kiemelésére is, ebben az esetben ellentétes *Extrusion Distance* értékeket kell használnunk.

*STL exportálása:* ha elvégeztük a szükséges módosításokat a modellen, a *Tools – Make – 3D Print* eszközzel exportálhatjuk a kész modellt, STL formátumban. Ennek menete a következő: az eszközben kattintással jelöljük ki a modellt, a *Refinement* paraméter legyen „High”, hogy a legjobb minőséget kapjuk. A *Send to 3D Print Utility* opció szükség szerinti: ha aktív, a szoftver a fájl generálása után automatikusan megnyitja a telepített szeletelőszoftvert. A jóváhagyás után a program elmenti a kész STL fájlt a kiválasztott helyre. Az új STL fájl mérete, főleg a *Reduce* parancsnak köszönhetően körülbelül 3 MB (a DEMto3D plugin által korábban generált STL fájl 53 MB volt).



18. ábra: A Blacktail Canyon ábrázoló, módosított STL modell, Blenderben (két fényforrást használva)



19. ábra: A modell módosítás előtt (balra) és után (jobbra), Blenderben (két fényforrással)

## 5. A makett megvalósulása (3D-nyomtatás)

### 5.1 A 3D-nyomtatás rövid története és általános tudnivalói

A 3D-nyomtatás egy automatizált folyamat, melynek során egy CAD modellből legyártani kívánt, háromdimenziós objektum az anyag fokozatos hozzáadásával, felépítésével alakul ki: ez az *additív gyártási eljárás* (additive manufacturing). Ez ellentétben áll a *szubtraktív eljárással* (subtractive manufacturing), mivel a szubtraktív eljárásnál egy nagyobb, nyers anyagdarabból választják le a felesleges anyagot, majd a megmaradt anyagrész adja a kész terméket (ilyen folyamatok pl. a forgácsolás és a kovácsolás, vagy CNC-gépek használata) (Franklin, 2016).

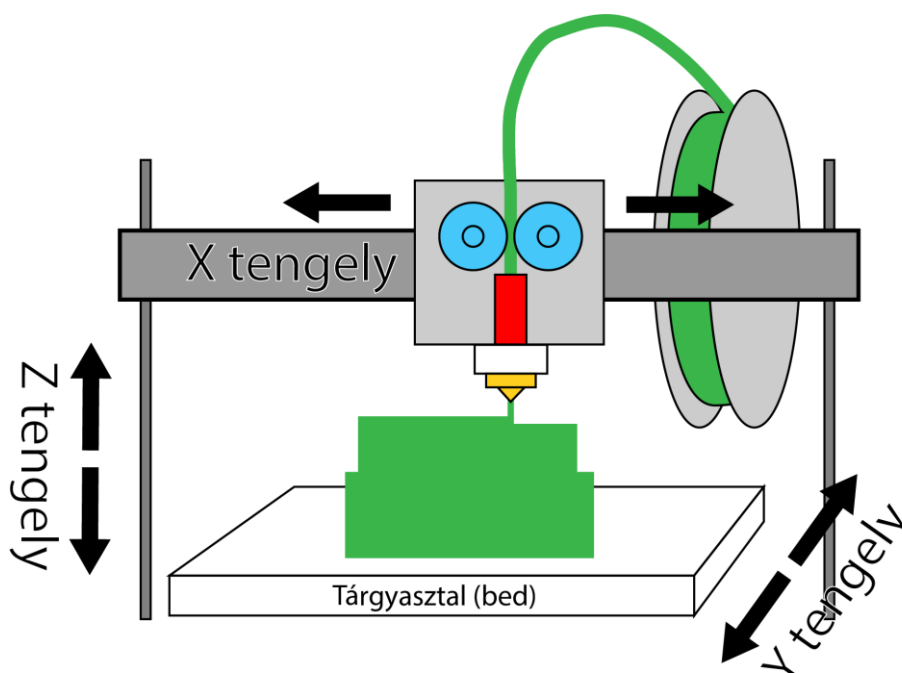
1983–86 között Chuck Hull és cége, a 3D Systems Corporation a szabadalmaztatta a *sztereolitográfias technológiát* (SLA), és az első piacra dobott “3D-nyomtatót”, az SLA-1-et. Ez a technológia egy tükrrel irányított lézersugarat pásztáz egy oldaton (pl. folyékony gyanta). Az oldat a lézersugár hatására megszilárdul. Ez az eljárás szolgált a 3D-nyomtatás kiinduló pontjává (Dénes, 2018). A 90-es években több ipari cég kezdett a témával foglalkozni, és egyre újabb technológiákat fejlesztettek ki. Bár ipari keretek között még mindig használják, a kisebb, otthoni felhasználásra szánt 3D-nyomtatók nagy része az SLA technológia helyett a *szálhúzáson alapuló módszert* (FDM - fused deposition modeling, vagy filament freeform fabrication) használja. Ezt a módszert S. Scott Crump fejlesztette ki és szabadalmaztatta 1989-ben. Az első ilyen eszközt cége, a Stratasys gyártotta le és dobta piacra 1992-ben (USA, Szabadalom száma: US5121329A, 1989). Crump szálhúzásos módszerének szabadalma 2009-ben elvesztette érvényességét: ez megnyitotta az ajtót a 3D-nyomtatók gyors elterjedésének. Ekkor az FDM nyomtatók ára hirtelen kevesebb, mint tizedére csökkent: nagyjából 10 000 \$ amerikai dollárról 1 000 \$ alá (Schoffer, 2016), és megjelentek az első, elérhető árú és felhasználóbarát nyomtatókat gyártó cégek is (mint pl. Ultimaker, MakerBot, vagy a 2012-ben alapított, cseh Prusa Research) (Prusa Research, 2020). Míg az idő előrehaladtával az árak csökkent, a gépek és a nyomtatás minősége egyre nagyobb mértékben javult. Ezeknek köszönhetően a 3D-nyomtató, mint fogalom, mára beépült a köztudatba, és egyre többen birtokolnak ilyen gépeket, akár otthoni körülmények között is.

A 3D-nyomtatás egy STL fájl megtervezésével és létrehozásával kezdődik (ezek az internetről, különféle STL-fájlokat gyűjtő weboldalokról is letölthetőek, pl. <http://www.thingiverse.com>). A nyomtató az STL fájlt közvetlenül nem tudja feldolgozni, így azt fel kell szeletelni egy szeletelőprogrammal (*slicer*). Ez a program végeredményben egy GCode-ot (RS-274) generál le, ami a nyomtatási instrukciókat tartalmazza (minden mozdulat

mindhárom irányban, hőfokok, sebességek, a kinyomott anyag húzásának mennyisége és sebessége stb.). Ezt a GCode-ot a szeletelőprogram elküldi a nyomtatónak, ami rögtön megkezdheti a nyomtatási folyamatot.

A szálhúzáson alapuló 3D-nyomtató működési elve a következő: a nyomtatás során egy motor segítségével szalag vagy drót formájú, 1,75 mm vagy 3 mm átmérőjű alapanyagot (*filament*) húz le egy ~330 m (~1000 g) anyagot tartalmazó tekercsről és tol bele a megadott hőfokra hevített fűtőtestbe (*hot end*), ahol az anyag megolvad, majd egy leggyakrabban 0,4 mm átmérőjű, rézből vagy titánból készült fűvókán (*nozzle*) keresztül elhagyja azt és rákerül a fűtött tárgyasztalra (*heated bed* – fűtött, mert a nyomtatás során kritikus, hogy a nyomtatni kívánt tárgy jól letapadjon és ne mozduljon el). A leírt folyamatért felel a nyomtató *Extruder* része. Az anyag lerakása és építése közben a nyomtató megállás nélkül végzi a szükséges, GCode-ban meghatározott mozdulatokat (X, Y és Z irányban), ezért mind a mozdulatokért felelős motorok, mind pedig az *Extruder* parancsainak tökéletes összhangban kell lennie. Amint egy réteggel elkészül, a GCode szerint egy Z-emelési instrukciót végez el, majd következik az új, magasabban lévő réteg felépítése. Amint a nyomtató az összes vékony réteget felépítette, a nyomtatás befejeződik – a termék elkészült.

A ma elérhető FDM 3D-nyomtatók négy fő típusa ismert: Descartes-féle koordináta-rendszer (X, Y, Z) alapú, delta, poláris és Scara (Yusuf, 2015). A dolgozatban egy Descartes-féle koordináta-rendszeren alapuló FDM 3D-nyomtatót használok (ez a legelterjedtebb típus a négy közül).



20. ábra: A Descartes-féle koordináta-rendszer alapú, FDM típusú 3D-nyomtató tengelyeinek és szerkezetének illusztrációja. A kék fogaskerekeket az Extruder motorja hajtja, a piros blokk a fűtőtest, a narancssárga pedig a fűvóka (saját illusztráció)



## 5.2 A használt 3D-nyomtató és paraméterei

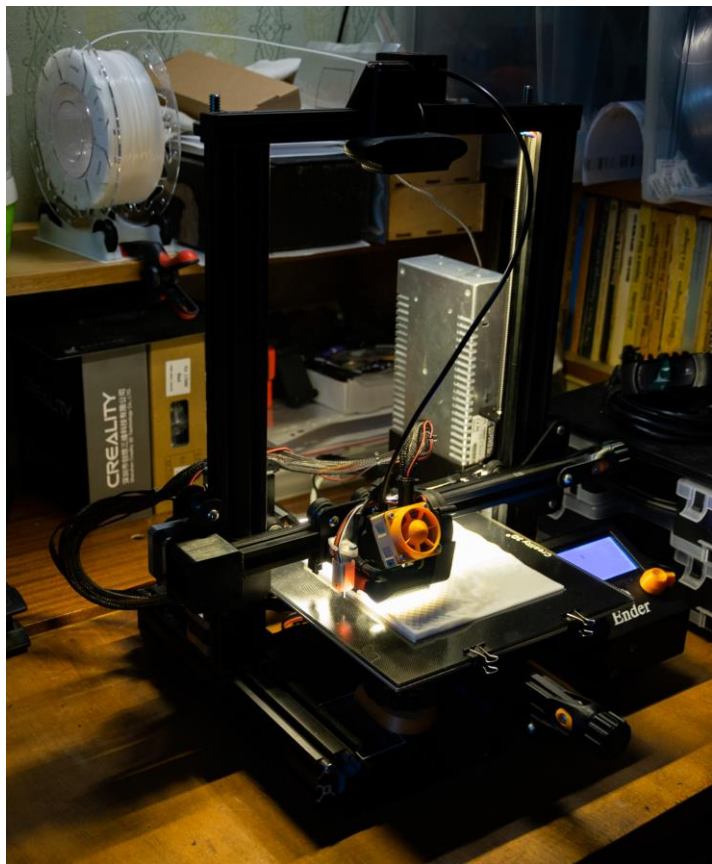
A makettek kinyomtatásához egy Descartes-féle koordináta-rendszer (X, Y, Z) alapú, Creality Ender 3 3D-nyomtatót használtam. A nyomtató tárgyasztalának mérete 235 x 235 mm (X, Y), a maximális nyomtatási magassága pedig 250 mm (Z). A fűtőtestet szobahőmérsékletre egészen 300 °C-ig lehet hevíteni, ez

által a nyomtató többféle típusú anyagot (*filament*) támogat, melyek más-más olvadási hőmérséklettel rendelkeznek (pl. PLA, TPE, ABS). A műanyagból készült tárgyasztal (*bed / build plate*) fűtött, ezt szobahőmérsékletre ~120 °C-ig lehet felfűteni. A tárgyasztal hevítésének mértéke is az éppen használt

alanyagtól függ: van anyag, amelyik 60 °C-on is megfelelően letapad a tárgyasztalra (pl. PLA) és van, amelyik 110 °C-ra fűtött tárgyasztalon tapad le jól (pl. ABS). A fűvóka átmérője eredetileg 0,4 mm, de ez cserélhető: több féle létezik, 0,25 mm-estől az akár 1,2 mm-esig. A nyomtatandó modellek GCode-ját a nyomtatóra USB kábelen keresztül rá lehet küldeni, vagy microSD memóriakártyán is el lehet juttatni. Az általam használt nyomtatót egy hálózatra csatlakoztatott, Raspberry Pi 2B+ mini-számítógépre telepített OctoPrint nyomtatóvezérlővel használom. Ez a szoftver lehetővé teszi, hogy a helyi hálózaton bármelyik számítógépről tudjak rá modellt küldeni és a nyomtatót vezérelni akár egy hagyományos böngészőben.

2. táblázat: A használt 3D-nyomtató tulajdonságai

<b>Modell:</b>	Creality Ender 3
<b>Típus:</b>	FDM, Descartes-féle koordináta-rendszer-alapú
<b>Támogatott filament:</b>	PLA, PETG, TPU, ABS, TPE
<b>Tárgyasztal mérete:</b>	235 x 235 x 250 mm
<b>Fűtőtest:</b>	300 °C-ig
<b>Tárgyasztal fűtése:</b>	120 °C-ig
<b>Fűvóka átmérője:</b>	0,4 mm
<b>Teljesítmény:</b>	300 W



21. ábra: Creality Ender 3 3D-nyomtató nyomtatás közben

### 5.3 A modellek szeletelése (slicing) és nyomtatása (folyamat, paraméterek)

Ahhoz, hogy a nyomtató értelmezni tudja a 4. fejezetben leírt folyamatok eredményeként megkapott STL fájlt, az abban tárolt modellt vékony rétegekre kell felszeletelni (*slicing*) és végül GCode-dá alakítani: erre szolgálnak az ún. szeletelőszoftverek (pl. Ultimaker Cura (ingyenes), Slic3r (ingyenes), Simplify3d, IdeaMaker (ingyenes)) (Locker, 2020).

A dolgozatban szereplő összes makettet az Ultimaker Cura szeletelőszoftverrel dolgoztam fel. Ebben az alfejezetben a Cura használatát, valamint a nyomtatás folyamatát részletezem.

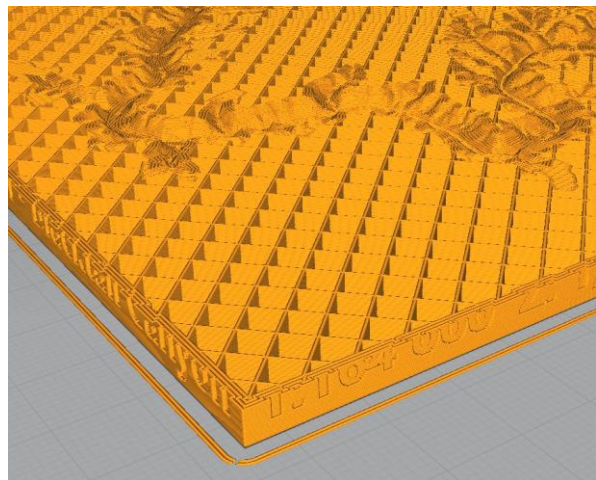
Az Ultimaker Cura megnyitása után első lépésként be kell tölteni a nyomtatni kívánt STL fájl(oka)t: “fogd-és-húzd”-módszerrel egy vagy több STL fájl, akár egyszerre is behívható. Az importálás után a szoftver az előkészítési munkafelületre kapcsol (*Prepare*), ahol az importált modelleket el lehet helyezni a tárgyasztalon. Ezt érdemes úgy megtenni, hogy lehetőleg ne fedjék egymást és ne lógjanak le a tárgyasztal területéről (ezt értelemszerűen a nyomtató nem fogja tudni legyártani). A modellek itt X, Y, és Z irányban is mozgathatóak (*Move*), átméretezhetőek (*Scale*), forgathatóak (*Rotate*). A felület bal alsó sarkában érdemes leellenőrizni, hogy a tárgyasztalra elhelyezett modell(ek) mérete megfelelő (ez a jelenlegi modellek esetében 150 x 150 x Z mm). A nézet igény szerint lehet perspektivikus és ortografikus: ezt a felső Nézet – Kamera nézet (*View – Camera view*) menüben állíthatjuk be.

Az elhelyezés után a rétegnézeti (*Preview*) munkafelületen a modell átlátszó lesz: ez azt jelenti, hogy a modell még nincs felszeletelve. A szeletelés (és a nyomtatás) szempontjából a jobboldali panel a legfontosabb, mert ezen a panelen állítható be a nyomtatást érintő összes paraméter (a *Custom* panelen több, mint 140 paraméter állítható). A legfontosabb paraméterek listája és az általam használt értékek:

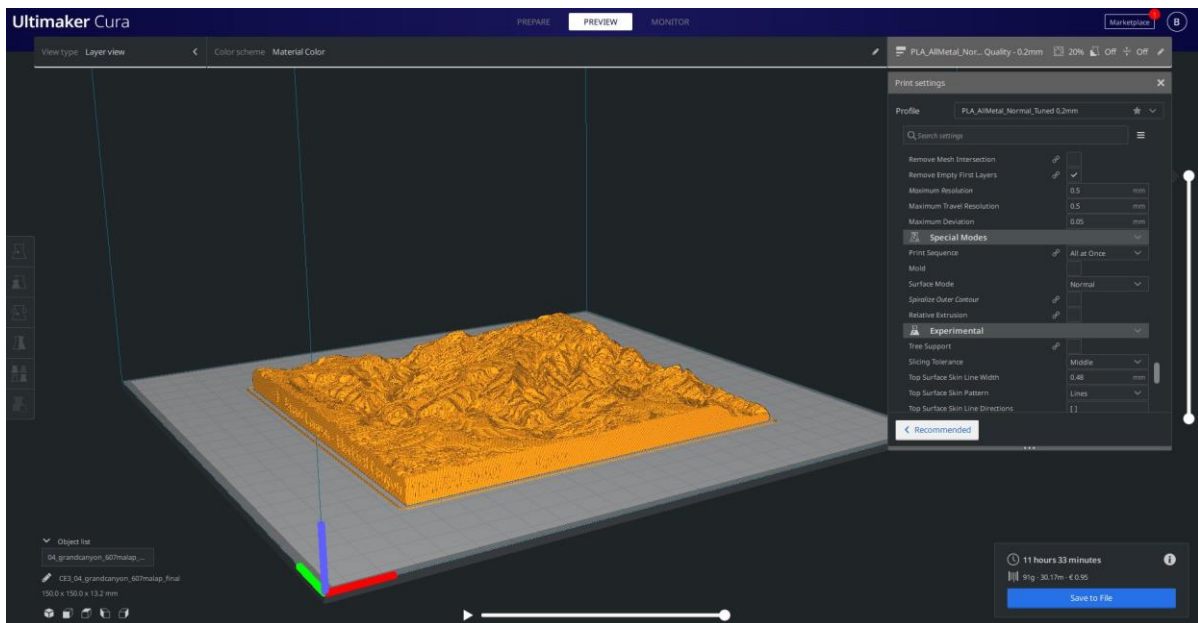
- rétegmagasság (*layer height*): 0,2 mm
  - egy réteg magassága; ennyit emel a nyomtató az új réteg kezdetekor (minél kisebb ez a rétegmagasság, annál több rétegből fog állni a makett, annál részletesebb lesz és annál tovább fog tartani a nyomtatás)
- falak száma (*wall line count*): 3
  - a több fal a makett integritásához járul hozzá (a fal az a nyomtatott vonal, ami egy rétegen a modell szélén kap helyet, tehát ott, ahol a kitöltés a modell külső oldala felé lezárul)
- felső rétegek (*top layers*): 4
  - azon rétegek száma, amelyek egy adott helyen a kitöltést és a modellt felülről bezárják
- alsó rétegek (*bottom layers*): 2

- azon rétegek száma, amelyek a kitöltés és a modell alapját adják
- kitöltés sűrűsége (*infill density*): 20 %
  - a ritkább kitöltéssel anyagot lehet spórolni, viszont vigyázni kell arra, hogy a nyomtató a kitöltésre megfelelően rá tudja építeni a záró réteget és megtartsa azt (100 % esetében a modell teljes kitöltést kap, míg 0 % esetében a modell belseje teljesen üres marad)
- kitöltés típusa (*infill pattern*): grid
  - többfajta kitöltés-alakot választhatunk: grid, lines, triangles, zig-zag, gyroid stb.
- nyomtatási hőmérséklet (*printing temperature*): 220 °C
  - a fűtőtest hőmérséklete nyomtatás közben (anyagfüggő)
- tárgyasztal hőmérséklete (*build plate temperature*): 60 °C
  - a fűtött tárgyasztal hőmérséklete nyomtatás közben (anyagfüggő)
- nyomtatási sebesség (*print speed*): 30 mm/s
  - a sebesség, amellyel a nyomtató X és Y mozgásokat végez anyaglerakás közben, másodpercenkénti milliméterben megadva (a nyomtatás időigénye nagyban függ ettől, viszont a minőségi végtermék szempontjából fontos, hogy az érték ne legyen túl magas, mert túl nagy sebességnél a nyomtató már nem tudja megfelelően lerakni az anyagot)
- a kitöltés nyomtatási sebessége (*infill speed*): 50 mm/s
- utazási sebesség (*travel speed*): 150 mm/s
  - a sebesség, amellyel a nyomtató X és Y mozgásokat végez, miközben egyik pontról a másikra mozdul, anyaglerakás nélkül
- a kinyomott anyagot hűtő ventilátor sebessége (*fan speed*): 40 %
- támasztás generálása (*generate support*): nem
  - egyes modelleknél szükség lehet a túllógó részek alátámasztására, hogy nyomtathatóak legyenek

A szeletelés (*Slice*) gombra kattintva a szoftver legenerálja a rétegeket és a modell struktúráját – megszületik az átmeneti GCode és a képernyőn megjelenik a rétegekre bontott modell. Itt a jobb oldali csúszkával minden réteg megnézhető, valamint a teljes nyomtatási folyamat is szimulálható.



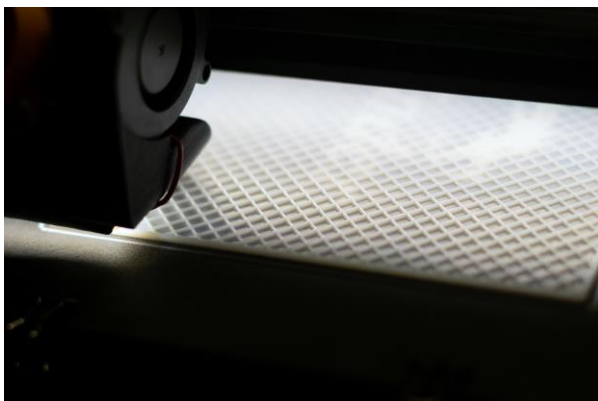
22. ábra: A Grand Canyon modell első 24 rétege, 20%-os grid kitöltéssel, az Ultimaker Cura rétegnézetében



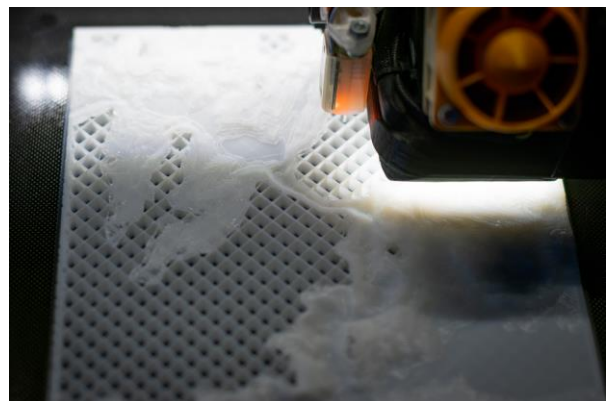
23. ábra: Ultimaker Cura: rétegnézet (Preview munkafelület)

A szoftver a jobb alsó sarokban kiírja a beállított szeletelési paraméterek alapján becsült nyomtatási időt és az anyagmennyiséget grammban és méterben. Mivel a nyomtató (vagy az azt vezérlő OctoPrint) korábban már konfigurálva volt a szoftverben, a jobb alsó sarokban látható Nyomtatás OctoPrinttel (*Print with OctoPrint*) gombbal a szoftver elküldi a GCode-ot a vezérlőnek, ami tárolja azt (és később igény szerint a nyomtatást indítja is). Ha nincs konfigurálva nyomtató, a Mentés fájlként (*Save to File*) gomb jelenik meg: ezzel a számítógépre is lementhető a GCode (ez egy \*.gcode kiterjesztésű fájl lesz), viszont így manuálisan kell eljuttatni a GCode fájlt a nyomtatóra (USB-kábelen vagy memóriakártyán).

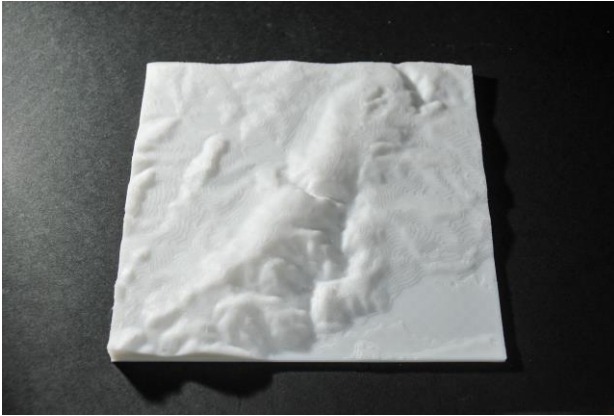
A végső lépés a nyomtatás elindítása. Mindegyik makett nyomtatásához fehér színű *Creality ST-PLA White* anyagot (*filament*) használtam.



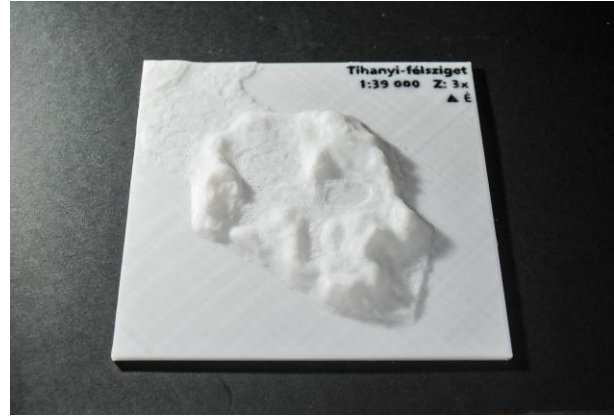
24. ábra: Az egyik normál modell 20%-os grid kitöltése nyomtatás közben



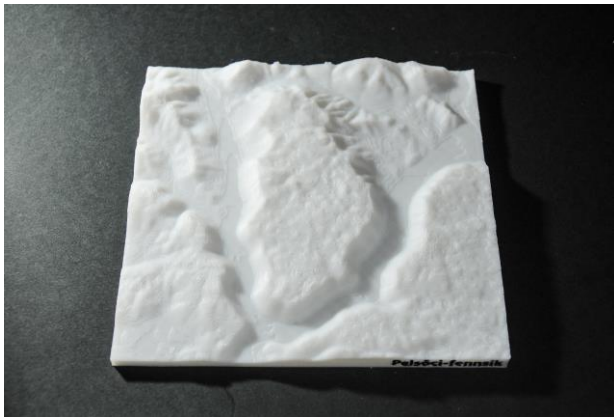
25. ábra: A Tordai-hasadék makettje nyomtatás közben



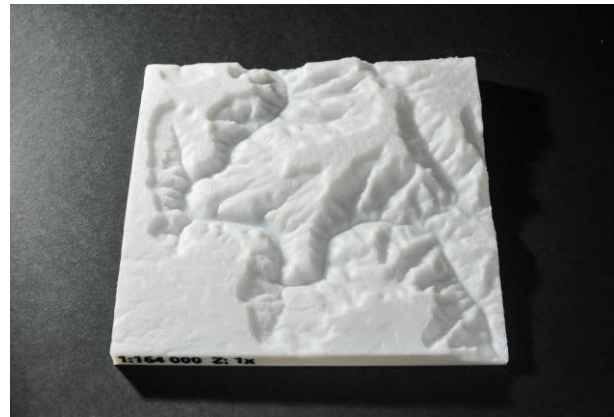
26. ábra: Tordai-hasadék



27. ábra: Tihanyi-félsziget



28. ábra: Pelsőci-fennsík



29. ábra: Grand Canyon - Blacktail Canyon

### 5.3.1 Anyaghasználat és időigény

A szeletelőszoftver a szeletelés után a jobb alsó sarokban megbecsüli, mennyi ideig tart majd a nyomtatás és mennyi anyagot fog ehhez felhasználni a nyomtató. Bár a nyomtatási idő becslése iránymutatásként jó, sajnos nem mindig pontos. A dolgozatban készített makettek nyomtatási ideje a Cura által kiszámolt, vagy annál rövidebb ideig tartott: ez jól látszik a 3. táblázatban, amiben összefoglaltam a négy “normál” makett anyagigényét (grammban és méterben), a szoftver által becsült és a tényleges nyomtatási időt. Egy ilyen makett teljes előkészítése (adatfeldolgozás, STL-fájllá alakítás, szeletelés) nagyjából 30 percig tartott.

3. táblázat: Az egyes modellek anyagigénye (grammban és méterben), a becsült és a tényleges nyomtatási idő

#	Terület	Anyag [g]	Anyag [m]	Becsült nyomtatási idő	Tényleges nyomtatási idő
1	Tordai-hasadék	76	25,23	7 óra 48 perc	6 óra 45 perc
2	Tihanyi-félsziget	59	19,61	7 óra 57 perc	6 óra 53 perc
3	Pelsőci-fennsík	83	27,25	8 óra 56 perc	7 óra 50 perc
4	Grand Canyon	91	30,01	10 óra 17 perc	9 óra 12 perc

## 6. Alternatív végtermékek

Az 5. fejezetben ismertetett módon elkészített, domborzatot ábrázoló maketteken kívül (melyek egy anyagból, egy darabban készültek el) más típusú végterméket is szerettem volna készíteni. Az egyik ilyen egy szintvonalas, a másik pedig egy kirakós makett. A szintvonalas makett esetében kíváncsi voltam, hogyan készíthető el és hogyan jelenhetnek meg a magassági szintvonalak egy ilyen 3D-nyomtatott maketten. A kirakós makett esetében pedig egy olyan 3D-s kirakós játék (puzzle) elkészítése volt a célom, mely segít a játszva tanulásban, akár látássérültek, akár egészséges látással rendelkezők számára. Az ilyen játékot kirakó személy nem csupán a darabokra festett képrészlet, hanem a magasságkülönbség alapján (akár vizuális megítéléssel, akár tapintás útján) dönti el, mely darabok mely darabokkal szomszédosak.

### 6.1 Szintvonalas makett készítése

A Badacsonyt ábrázoló makettet szintvonalas makettként készítettem el, ebben a fejezetben ennek elkészítését részletezem.

A 3D-nyomtatás területén léteznek olyan gépek, melyek egyszerre több *Extruder* motort használnak (*Multi Extrusion 3D printer*). Ez lehetővé teszi, hogy a nyomtatás során egyszerre több anyagot is felhasználjon a nyomtató. Egy ilyen típusú nyomtatón mindegyik anyag be van vezetve a megfelelő *Extruder* motorba, és a szeletelés során megadott időben/rétegen használja a kiválasztott anyagot. Az általam használt nyomtató sajnos nem ilyen, mivel csak egyetlen anyagot tud kezelni egy nyomtatás alatt. Ennek ellenére van rá megoldás, hogy egy makett két vagy több anyagból készüljön egy ilyen nyomtatón is. Ezt a GCode-ba, szeleteléskor beleírt szünet paranccsal (*Pause*) lehet megtenni (bizonyos magasságban vagy rétegszámon), amikor a fejet leparkolja, a fűtést megtartja és vár a nyomtatás folytatása parancsra (*Resume*). Eközben az anyagot ki lehet húzni, majd befűzni a másik anyagot. A befűzött anyagot először érdemes manuálisan (kézzel) kinyomni a melegen tartott fűvókán, hogy az előző anyag fűtőtestben ragadt maradékát kinyomjuk. Ez különösen fontos akkor, ha más színű anyagra cseréltünk – pl. a fehér utáni fekete anyagból annyit kell manuálisan kinyomni, hogy a kinyomott anyag megtisztuljon és teljesen fekete színű legyen, amikor a nyomtatás folytatódik. A folytatás parancs után a nyomtató ott folytatja, ahol a szüneteltetéskor tartott, ezúttal már az új anyaggal.

Ebben a fejezetben is ezt a módszert alkalmaztam a Badacsony szintvonalainak elkészítésekor: alapanyagként a “normál” makettekhez hasonlóan fehér színű *Creality ST-PLA White* anyagot használtam, a szintvonalakat pedig fekete színű *Creality PLA Black* anyagból nyomtattam. A szintvonalak ismertetőjegyei úgy, ahogy egy topográfiai térképen, a nyomtatott

makettnél is érvényesülnek: a szintvonal a terep azonos tengerszint feletti magasságú pontjait összekötő vonal, amely nem ágazik el; nem keresztez más szintvonalat vagy saját magát; nem szakad meg. Első lépésként kiszámoltam, hányadik rétegre esnek a szintvonalak: 50 méteres alapszintközzel számolva hét szintvonalat kaptam (a bonyolult anyag-kicserélési folyamatra való tekintettel nem választottam sűrűbb alapszintközt). A szintvonalak rétegszámát lineáris interpolációval számoltam ki, viszont ezeket csupán a csúcs és a Balaton magassága (90 m) közötti terjedelemben számoltam:

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h} \times t = t_1$$

ahol, a Badacsony esetén:

- $\Delta h_1$  = a kezdőpont (438 m) és a keresett magasság (pl. 400 m) különbsége
- $\Delta h$  = a modell legnagyobb (438 m) és a Balaton magasságának (jelen esetben 90 m, mert 10 méterrel a 4.3-as fejezet során bemélyítettem) különbsége (438-90 = 348 m)
- $t$  = rétegszám (jelen esetben a teljes Badacsony modellt 172 rétegre szeletelte a szeletelőszoftver, de a Balaton a 31. rétegen zárul be, így: 172-31 = 141 db réteg)
- $t_1$  = a keresett szintvonal rétegszáma a kezdőponttól (tehát 438 m-től) számítva

A lineáris interpoláció után megkaptam a szintvonalak legmagasabb ponttól számított rétegszámait. Mivel a szeletelőszoftver a rétegeket a tárgyasztaltól távolodva számolja, ezért a kapott rétegszámokon kétféle korrekciót végeztem: hogy ne felülről, hanem alulról számított rétegszámokat kapjak, kivontam a kapott számot 141-ből (a csúcs és a Balaton között 141 réteg van), valamint, hogy ne a Balatontól számított rétegszámokat kapjak, hozzáadtam mindegyikhez a Balaton rétegszámát (31-et). A korrigált rétegszámok:

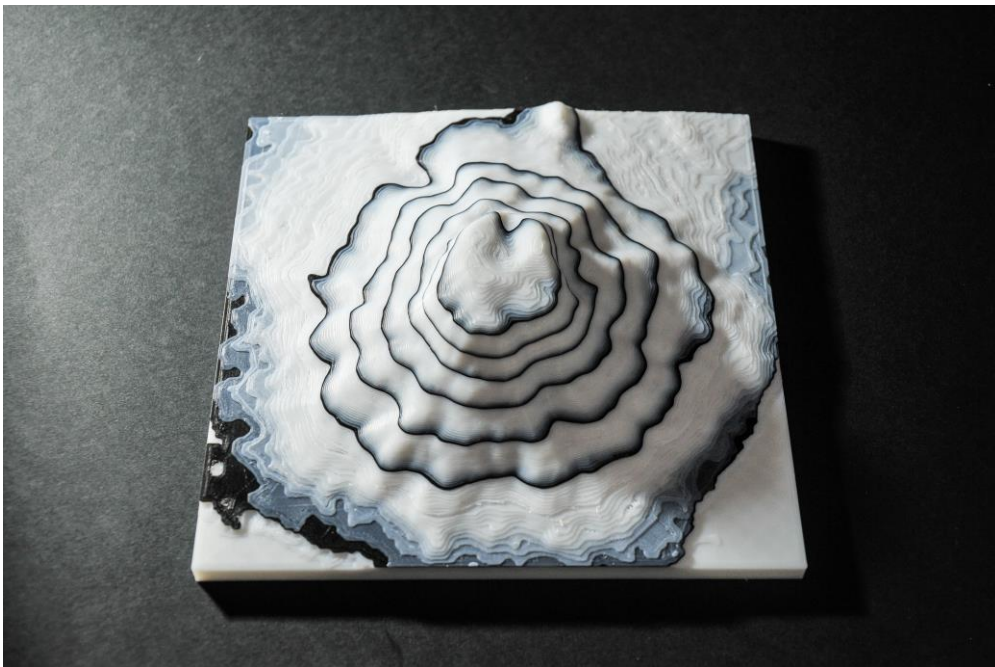
- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| • 400 m-es szintvonal: 157. réteg | • 200 m-es szintvonal: 76. réteg |
| • 350 m-es szintvonal: 136. réteg | • 150 m-es szintvonal: 55. réteg |
| • 300 m-es szintvonal: 116. réteg | • 100 m-es szintvonal: 35. réteg |
| • 250 m-es szintvonal: 96. réteg  |                                  |

A szeletelőszoftver bővítmények – post processing (*Extensions – Post Processing*) menüjében lévő GCode szerkesztése (*Modify GCode*) eszközzel különféle szkriptekkel lehet a GCode-ot szerkeszteni (akár többel is egyszerre). Az egyik ilyen szkript a szünet egy magasságban (*Pause at Height*). Ennek paraméterei közül a rétegszámnál való szünet (*Pause at: Layer no.*) és a réteg paraméter a legfontosabb: a megadott réteg megkezdése előtt fog szünetelni a nyomtatás, míg a nyomtató kezelője nem folytatja azt. A paramétereknél megadható még, hogy szünet esetén hova parkolja a fejet (X, Y), hány Celsius fokon tartsa a fűtést stb. Ezt a szkriptet – mivel hét szintvonalat szeretnénk kapni – 14-szer kell hozzáadni és mindegyik szkriptet a fenti felsorolás

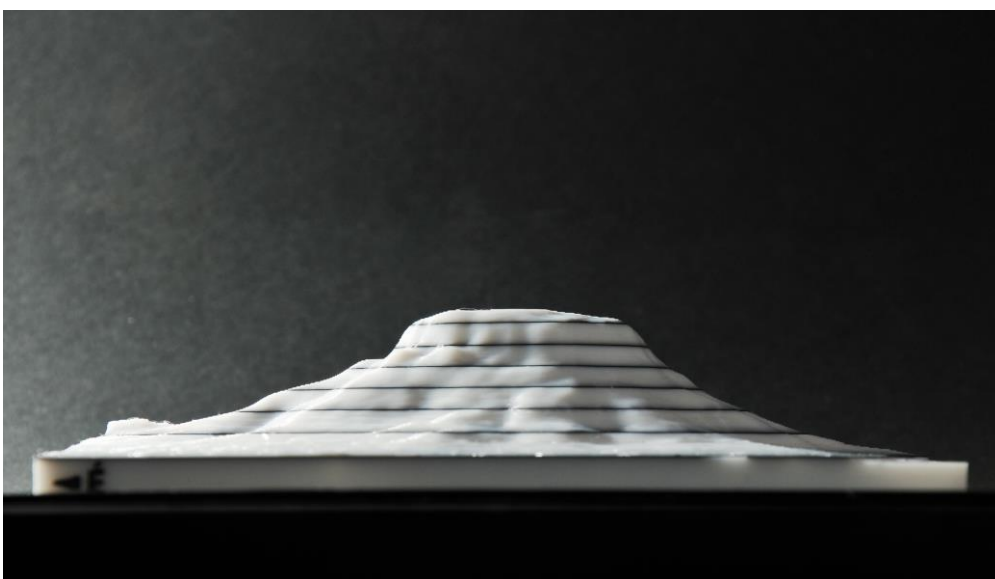
szerinti rétegszámoknak megfelelően beállítani. Szintvonalanként két szüneteltetés kell, mert ha pl. a fehér anyagból kezdem a nyomtatást, a 35. rétegnél cserélek feketére, a 36. rétegnél újra cserélnem kell fehér anyagra, így kapok egy rétegnyi fekete szintvonalat.

*Nyomtatási idő:* a szeletelőszoftver által becsült nyomtatási idő 9 óra 28 perc volt, a tényleges pedig 9 óra 6 perc (a nyomtatás kezdetétől, az anyagcseréket beleértve, a nyomtatás befejezéséig).

*Felhasznált anyag:* a szintvonalas Badacsony makett nyomtatásához összesen 118 g (38,96 m) anyagot használtam fel.



30. ábra: Badacsony



31. ábra: Badacsony oldalnézetben



## 6.2 Kirakós makett készítése (puzzle)

A kirakós játékot (angolul: jigsaw puzzle) egy londoni kartográfus és rézmetsző, John Spilsbury terjesztette és használta először kereskedelmi célokra. Spilsbury célja egy, a földrajz tanulásához való segédanyag létrehozása volt. Az első ilyen kirakós játékot 1760 környékén hozta létre (McAdam, 2000). Egy Európa-térképet ragasztott egy falapra, majd a királyságok és országok határainak mentén egy lombfűrészsel szétfűrészelte azt (innen ered a jigsaw elnevezés). Az ilyen kirakós játékokat később árusítani kezdte. Többféle tematikájú kirakós játékot gyártott: világtérképet, Európa, Ázsia, Afrika, Amerika, Anglia és Wales, Írország és Skócia területét bemutató játékot is. 1820-ig a kirakós játékok főként oktatási célokat szolgáltak.



32. ábra: John Spilsbury: "Europe divided into its kingdoms, etc." (1766),  
Forrás: Wikimedia Commons, CC0 (Universal Public Domain)

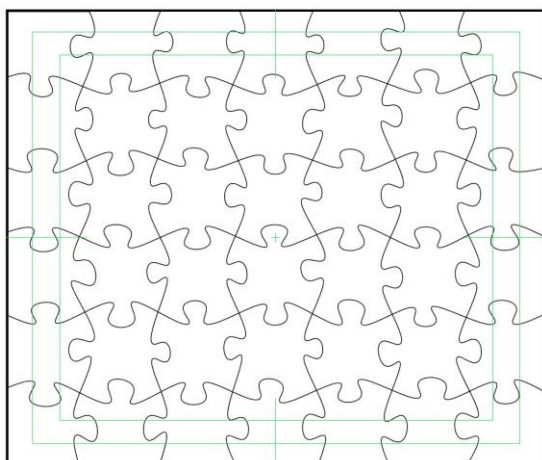
A kirakós makett készítését és nyomtatását a Dunakanyart ábrázoló modellen mutatom be. A modell darabokra vágását egy, Adobe Illustratorban megrajzolt, vektoros (.dxf formátumú) rajz segítségével tettem meg, Autodesk Fusion 360-ban. Kirakós játék készítéséhez rajzolt vágórajz az interneten több formában elérhető, de véleményem szerint minden kirakós játékként elkészítendő maketthez érdemes saját, új vágórajzot készíteni, mert így nem kell átszerkeszteni egy meglévő fájlt a megfelelő formára, méretre, oszlop- és sorszámra. Az egyénileg megrajzolt vágórajznál érdemes minél szabálytalanabb alakokat rajzolni, ezáltal a kirakós sem lesz túl könnyen kirakható.

A vágórajz megrajzolása előtt érdemes egy ún. illesztési hézag-tesztet nyomtatni, aminek segítségével megállapítjuk, melyik az a lehető legkisebb távolság, melynél a kirakós darabjai megfelelően összetartanak. Ezt a nyomtató X és Y irányban való nyomtatási pontossága szabja meg. Az illesztési hézag-teszthez Devin Montes "Printer Clearance Test Puzzle", négy darabból álló STL-csomagját használtam fel, ami 0,15, 0,2, 0,3 és 0,4 mm-es hézaggal elkészült darabokat tartalmaz (Montes, 2018). A kinyomtatott teszt alapján az általam használt nyomtatónál a 0,16 mm-es hézag mellett döntöttem, mert a darabok között így sem túl szoros, sem túl laza hézag keletkezik.



33. ábra: Devin Montes "Printer Clearance Test Puzzle" STL-csomagja, kinyomtatva. A kép forrása: a letölthető csomag adatlapja, a MyMiniFactory.com oldalon

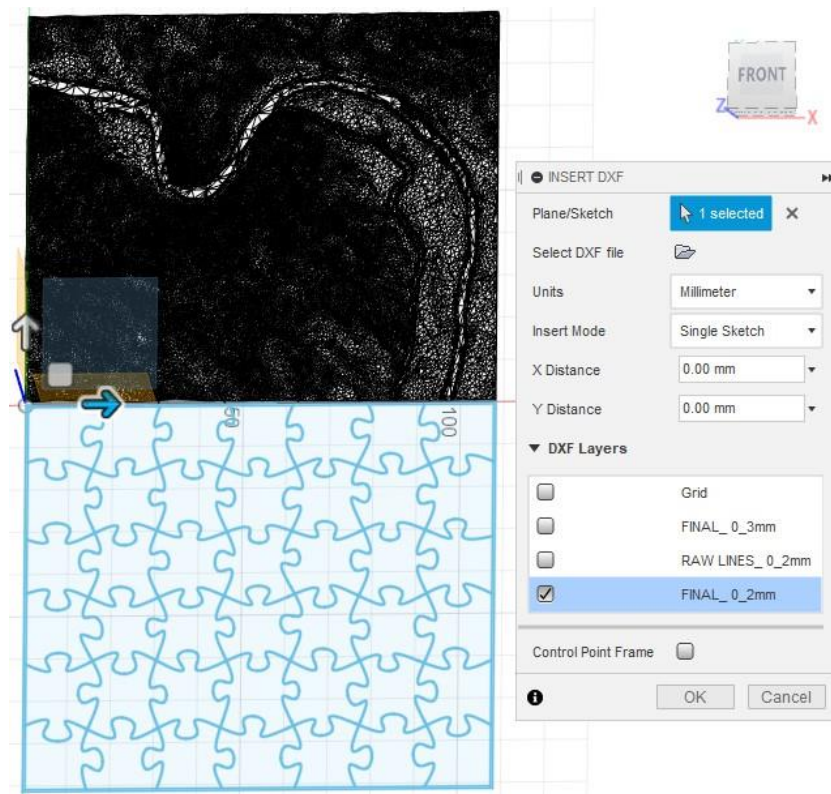
Az Illustratorban egy új dokumentum létrehozásánál (06\_dunakanyar\_puzzle\_grid.ai) a dokumentumméretet érdemes a modell teljes méretére szabni (jelen esetben 210 mm széles és 177,41 mm magas). Az első rétegen egy ilyen méretű téglalapot rajzoltam, ami a modell széleit adja meg és keretként szolgál. A második rétegen létrehoztam egy 6x7-es rácshálót a *Rectangular Grid* eszközzel, ami vizuális segítséget ad a darabok határvonalainak megrajzolásában. Egy új rétegen megrajzoltam a görbéket, mely mentén a modell el lesz vágva (a kirakós darabjainak összetételét). Ezen görbe vonalak vastagsága függ a korábban kinyomtatott illesztési hézag-tesztől: jelen esetben 0,16 mm vastag vonalú spline görbéket rajzoltam. A megrajzolt görbéket kijelölve az *Object – Expand* eszközzel kitöltéssé alakítottam (olyan felületté, aminek mérete a beállított 0,16 mm vastag vonallal megegyezik), majd az egybevonás (*Pathfinder – Shape Modes – Unite*) eszközzel egybevontam azokat. A kereten kívül eső görbéket le kellett vágjam: kijelöltem a korábban



34. ábra: A Dunakanyar makettjénél használt vektoros formátumú vágórajz, Adobe Illustratorban

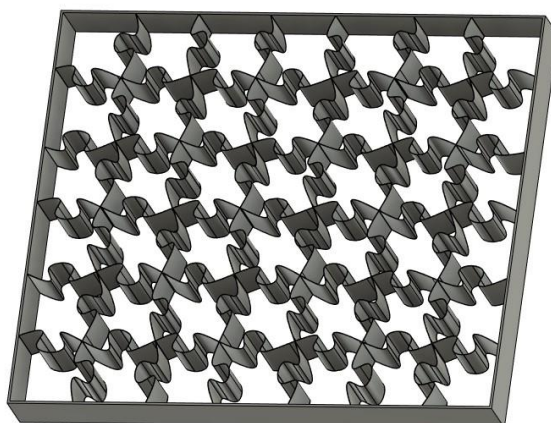
megrajzolt keretet és a görbéket, majd a *Pathfinder – Shape Modes – Intersect* eszközzel levágtam a felesleget. A felesleg levágása utána megkaptam a kész vágórajzot. Ezt kijelöltem és exportáltam .dxf formátumba ("Drawing eXchange Format", CAD szoftverek közötti adatcserére kifejlesztett fájlformátum). Az exportálásnál ügyelni kell a rajz arányára (*Artwork Scale*): a felugró ablakban a rajz egy egysége egy milliméternek feleljen meg.

A 4. fejezetben részletezett folyamatok eredményeként megkapott Dunakanyar STL fájlját betöltöttem egy új Fusion 360 projektbe. A „Solid” munkafelületben lévő *Insert – Insert DXF* eszköz paramétereinél meg kell jelölni a síkot, melyen a vágórajzot elhelyezni kívánjuk (jelen esetben az XY síkon), majd a kis mappa ikonnal ki kell választani az Illustratorból exportált vágórajzot (06\_dunakanyar\_puzzle\_grid\_0.16mm.dxf). A felugró paraméterek közül az alapegységet (*Units*) milliméterre kell állítani (mivel a rajz exportálásánál is ezt adtam meg), és ha a .dxf fájlban több réteg lett elmentve, a DXF rétegek panelen (*DXF Layers*) csak a végleges réteget hagyjuk megjelölve.



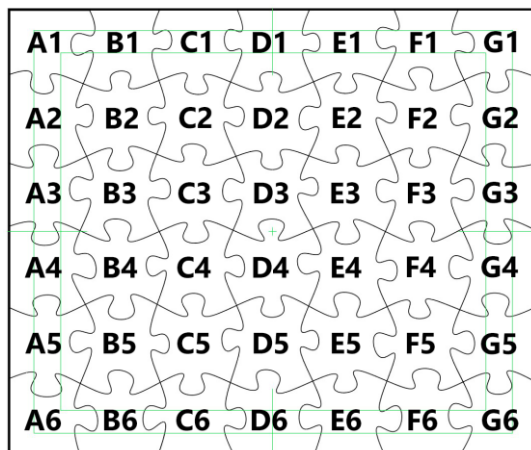
35. ábra: DXF fájl importálása Fusion 360-ban

Az importált vágórajz egy új *Sketch* réteggént kap helyet a projektben, így a 4.5-ös fejezetben leírtakkal hasonlóan ebből is lehet kimagasítani (a *Create – Extrude* eszközzel). Az *Extrude* eszköz megnyitása után jelöljük ki a vágórajz egy felületből álló körvonalát, majd olyan magasságra emeljük (*Distance*), ami biztosan magasabb, mint a terepet ábrázoló modell (jelen esetben 20 mm elegendő). Az *Operation* paraméternél fontos megadni, hogy egy új testként (*New Body*) hozza létre a kiemelt testet. Jóváhagyás után a vágórajzból egy test készül.



36. ábra: A vágórajzból létrehozott test

Ahhoz, hogy a vágórajzzal vágni lehessen, a létrehozott testet pontosan rá kell helyezni a Dunakanyar modell testére. Ezt az áthelyezés (*Modify – Move/Copy*) eszközzel tettem meg. Kijelöltem a vágórajz testét, majd az öt áthelyezési mód közül a pont pontra helyezését (*Point to Point*) választottam. Ezzel a vágórajz testének egyik alsó sarokpontját (kiinduló pont, *Origin Point*) pontosan rá tudtam helyezni a terep testének azonos sarokpontjára (végső pont, *Target Point*). Az áthelyezés után a két test helye a projekt koordinátarendszerén belül megegyezik. Az utolsó lépés a vágás, amit az egyesítés (*Modify - Combine*) eszközzel hajtottam végre. A *Combine* paramétereinél cél testként (*Target Body*) a terepet, eszköz testként (*Tool Bodies*) pedig a vágórajzot jelöltem meg. Fontos, hogy az *Operation* paraméter itt vágás (*Cut*) legyen, mivel a vágórajz mentén szeretnénk feldarabolni a modellt. A folyamat lefutása 15-30 másodpercig is eltarthat. Végeredményként annyi testet (*Body*) kapunk, ahány darabra szeltük a modellt (ezt a bal oldali navigációs panel (*Browser*) testeket gyűjtő (*Bodies*) részén ellenőrizhetjük). Ezen a listán az azonosíthatóság érdekében minden testet átneveztem: mindegyiknek adtam egy azonosítót (A1 – G6), mert ezáltal nyilvántartható, hogy a nyomtatási fázisban melyik darab készült már el és melyik nem.



37. ábra: A kirakós darabjainak adott azonosítók

Mivel sok darab készült, érdemes a navigációs panel legfelső során (a projekt nevéen), jobbegérgomb nyomására felnyíló menüben az STL-ként mentés (*Save As STL*) opcióval menteni a darabokat. A felugró lehetőségek közül a struktúra (*Structure*) paraméternél az egy fájl testenként (*One File Per Body*) lehetőséget választottam. Ennek köszönhetően a szoftver automatikusan generálja és elmenti az összes darabot a számítógépre. Mindegyik STL fájl nevét a test nevééről kapja, jelen esetben az általam adott azonosítót. A mentés további paraméterei megegyeznek a 4.5 fejezet záró részében lévő mentési paraméterekkel. A mentés eltarthat akár egy percig is.

A nyomtatás az 5. fejezetben leírtakkal nagyrészt megegyezik, annyi különbséggel, hogy itt a darabokat külön, vagy 2-3 darabot egyszerre nyomtattam. A kirakós darabjainak nyomtatásához is *Creality ST-PLA White*, fehér színű anyagot használtam.

*Nyomtatási idő:* a laposabb, egyszerűbb darabok 20, a magasabb darabok 47 perc alatt készültek el (ez a terepviszonyoktól és a darab összetettségétől függ). A darabok nyomtatása átlagosan 29,2 percig, összesen pedig 20 óra 26 percig tartott.

*Felhasznált anyag:* az egyes darabok átlagos anyagigénye grammban 3,76 g/db, méterben 1,25 m/db volt. A darabok nyomtatásához összesen 158 g (52,79 m) anyagot használtam fel.

A kirakóst kb. 7–8 perc alatt sikerült kiraknom. A játékhoz terveztem Fusion 360-ban egy keretszerű, felülről nyitott tárolóegységet, ami lehetővé teszi, hogy a kirakóst kirakott állapotában is lehet tárolni vagy megjeleníteni. Ezen a kereten helyeztem el a kirakós makettre vonatkozó adatokat is (terület neve, méretarány, túlmagasítás mértéke). Ezt a kiegészítésnek szánt keretet is 3D-nyomtatóval készítettem el.



38. ábra: Dunakanyar (kirakás közben)



39. ábra: Dunakanyar (kirakott állapotban, a keretben)

## 7. Összegzés

Szakedolgozatomban a digitális domborzatmodellből generált és 3D-nyomtatóval előállított háromdimenziós makettek elkészítését mutattam be. Céloom a folyamat gyakorlati bemutatása, részletes ismertetése és az ilyen típusú makettek megvalósíthatóságának vizsgálata volt. Ezek mellett alternatív, 3D-nyomtatóval elkészíthető, szintén domborzatot ábrázoló végtermékeket is készítettem (szintvonalas és kirakós makettet).

A folyamat első lépéseként a raszteres adatmodellt (SRTM digitális domborzatmodell) előkészítettem, feldolgoztam és szükség szerint módosítottam (pl. vízfelületek bemélyítése), majd ebből egy bővítmény (*plugin*) és a QGIS térinformatikai szoftver segítségével STL fájlt generáltam. A kapott STL fájlra további módosításokat végeztem (pl. felirat bemélyítése a modell oldalfalába) és az ilyen típusú teszteszabás további lehetőségeit is részleteztem. A dolgozatban röviden összefoglaltam a 3D-nyomatás történetét és általános tudnivalóit, valamint részleteztem a teljes nyomtatási fázist, mely során a makett elkészül. A nyomtatási fázis leírásában bemutattam a szeletelést (*slicing*), a szeletelési paramétereket, a használt nyomtató tulajdonságait, az anyaghasználatot és a nyomtatás időigényét is.

A munka során összesen hat makettet készítettem, melynek mindegyike más területet ábrázol: Tordai-hasadék, Tihanyi-félsziget, Pelsőci-fennsík, Grand Canyon (Blacktail Canyon), Badacsony és Dunakanyar. Az első négy makett a domborzat egyszerű, nyomtatott makettje, míg a Badacsonyt szintvonalas, a Dunakanyart pedig kirakós makettként készítettem el. A négy egyszerű makett teljes előkészítése egyenként kb. 30 percig tartott, ezért úgy gondolom, hogy a folyamat nem igényelt túlzottan sok erőforrást és munkát, és a folyamat alkalmas lehet különféle demonstrációs és oktatási célú makett gyors előállítására. A szintvonalas és kirakós makettek előkészítése 1 óráig tartott, de ez a makettek bonyolultságának tudható be. A szintvonalas makett előkészítése több időt igényelt a vonalak rétegszámának megállapítása, a kirakós pedig a vágórajz megrajzolása és a teljes modell feldarabolása miatt. A szintvonalas makett elkészítésének módszere megfelelő lehet hipszometrikus domborzatábrázolás megjelenítésére is, ha többféle színű anyag (*filament*) áll rendelkezésre. Mivel a makettek elkészítéséhez használt anyagra (PLA) jól tapad az akril festék, az elkészült makettek oldalfalába mélyített feliratokat fekete akril festékkel töltöttem ki, hogy a feliratok jobban látszódnak. A makettek felszíne is festhető akril festékekkel (egyéb térképi tartalom feltüntetésére), ami a szemléletességet tovább növeli. A kirakós és a szintvonalas makettet az oktatásban, illetve a szakterület népszerűsítésére is fel lehet használni, de erről szóló kutatást jelen dolgozatban nem végeztem.

## 8. Hivatkozások

- Albert, G. (2015). 3D modeling in GIS: Lecture notes on the masters course ITM-E3DM E. In *3D modeling in GIS: Lecture notes on the masters course ITM-E3DM E (Lektorált digitális egyetemi jegyzet)*. Budapest: Eötvös Loránd University.
- Albert, G. (2018). Modellezési és szerkesztési módszerek a geotudományok térképein. 16. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Allplan. (2020). *STL formátum, általános*. Forrás: Allplan: <https://help.allplan.com/Allplan/2018-0/1038/Allplan/65505.htm>
- Autodesk. (2020). *Fusion 360 - Integrated CAD, CAM, and CAE software*. Forrás: Autodesk: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
- Autodesk. (2020). *Product Documentation - Mesh to BRep*. Letöltés dátuma: 2020. március 7., forrás: Autodesk.com: <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-5A60A1D6-5952-41B7-954E-ABD766EFF402>
- Blender. (2020). *About*. Forrás: Blender: <https://www.blender.org/about/>
- Chakravorty, D. (2019. február 14.). *STL File Format (3d Printing) - Simply Explained*. Letöltés dátuma: 2020. március 30., forrás: All3DP.com: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/>
- cnc.hu. (2020). *Fusion 360 – a mérnöki eszközök kiváló fúziója*. Forrás: cnc.hu: <https://www.cnc.hu/2017/10/fusion-360-a-mernoki-eszkozok-kivalo-fuzioja/>
- Crump, S. (1989). *USA, Szabadalom száma: US5121329A*. Letöltés dátuma: 2020. február 16., forrás: <https://patents.google.com/patent/US5121329>
- Dénes, L. (2018. november 28.). *Rétegekből felépített világ - 3D nyomtatás a bútortiparban 1. rész*. Letöltés dátuma: 2020. február 16., forrás: Faipar.hu: <https://faipar.hu/cikkek/butor-es-design/8729/retegekbol-felepített-vilag>
- Farbinger, A. (2017). *Magyarország vektoros adatbázisának felújítása*. Budapest.
- Franklin, H. (2016. november 8.). *The Ultimate Guide to 3D Printing – 101 Questions Answered*. Letöltés dátuma: 2020. február 16., forrás: All3DP.com: <https://all3dp.com/3d-printing-3d-printer-guide-101-questions/>
- Gerzsenyi, D. (2016). *Morfometriai és morfográfiai térképek szerkesztése a Gerecse ÉNY-i területének domborzatmodellje alapján (szakdolgozat)*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Grimm, T. (2004). User's Guide to Rapid Prototyping. In T. Grimm, *User's Guide to Rapid Prototyping* (old.: 55). Society of Manufacturing Engineers.
- Hasiuk, F., & Harding, C. (2016. Január 27.). Touchable topography: 3D printing elevation data and structural models to overcome the issue of scale. *Geology Today, Vol. 32, No. 1, January–February 2016*, old.: 16-20. Letöltés dátuma: 2020. március 24., forrás: [https://www.researchgate.net/publication/292185751\\_Touchable\\_topography\\_3D\\_printing\\_elevation\\_data\\_and\\_structural\\_models\\_to\\_overcome\\_the\\_issue\\_of\\_scale](https://www.researchgate.net/publication/292185751_Touchable_topography_3D_printing_elevation_data_and_structural_models_to_overcome_the_issue_of_scale)
- Hencz, M., Karátson, D., Németh, K., & Biró, T. (2017). A Badacsonyi freatomagmás piroklasztitösszlete: következtetések a monogenetikus bazaltvulkáni működés folyamataira. *Földtani Közlemények*, old.: 297–310. doi:10.23928/foldt.kozl.2017.147.3.297
- Karátson, D. (2014). Két vulkáni hegység között: a Dunakanyar kialakulása. In *Börzsönyvidék 5: A Börzsöny erdői és vizei* (old.: 205-218). doi:10.13140/2.1.3654.3042
- Locker, A. (2020. január 2.). *2020 Best 3D Printer Slicer Software*. Letöltés dátuma: 2020. április 30., forrás: All3DP.com: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

- McAdam, D. J. (2000. október 19.). *History of Jigsaw Puzzles (archivált)*. Letöltés dátuma: 2020. február 2., forrás: American Jigsaw Puzzle Society: <https://web.archive.org/web/20001019002453/http://www.jigsaw-puzzle.org/jigsaw-puzzle-history.html>
- Montes, D. (2018. február 2.). *Printer Clearance Test Puzzle*. Forrás: MyMiniFactory.com: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-printer-clearance-test-puzzle-55744>
- NASA JPL. (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. doi:10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003
- National Inventors Hall of Fame. (2020). *Charles Hull*. Forrás: National Inventors Hall of Fame: <https://www.invent.org/inductees/charles-hull>
- Prusa Research. (2020). *Hello, we are Prusa Research!* Forrás: Prusa Research: <https://www.prusa3d.com/about-us/>
- Schoffer, F. (2016. május 16.). *How expiring patents are ushering in the next generation of 3D printing*. Forrás: TechCrunch.com: <https://techcrunch.com/2016/05/15/how-expiring-patents-are-usher-in-the-next-generation-of-3d-printing/>
- Simón, F. (2014). Development of a module for 3D printing digital elevation models based on low cost system (Desarrollo de un modulo de impresión 3D de modelos digitales de elevaciones basado en sistema de bajo coste). *Engineering in geodesy and cartography (Ingeniería en Geodesia y Cartografía)* - University of Jaén. Letöltés dátuma: 2020. március 30., forrás: <https://prezi.com/tnw-xsb2lu9i/desarrollo-de-un-modulo-de-impresion-3d-de-modelos-digitales/>
- Szigeti, C., Albert, G., & Kis, D. (2018). A domborzatrájz értelmezésének vizsgálata nagy méretarányú térképeken. *Geodézia és Kartográfia*(2018/5), old.: 13-18. doi:<https://doi.org/10.30921/GK.70.2018.5.2>
- Telbisz, T., Móga, J., & Kósik, S. (2009). A Pelsőci-fennsík digitális domborzatelemzése és töbör morfometriai jellemzése. *KARSZTFEJLŐDÉS XIV.*, old.: 121-137. Letöltés dátuma: 2020. május 13., forrás: [https://www.researchgate.net/publication/236874724\\_A\\_Pelsoci-fennsik\\_digitalis\\_domborzatelemzese\\_es\\_tobormorfometriai\\_jellemzese](https://www.researchgate.net/publication/236874724_A_Pelsoci-fennsik_digitalis_domborzatelemzese_es_tobormorfometriai_jellemzese)
- Tulogdy, J. (1943). : A Tordai hasadék keletkezése. (A. Kéz, T. Mendöl, & G. Temesy, szerk.) *Földrajzi közlemények, LXXI.*(1), old.: 193-215. Letöltés dátuma: 2020. május 13., forrás: [http://real-j.mtak.hu/10079/1/FoldrajziKozlemenyek\\_1943.pdf](http://real-j.mtak.hu/10079/1/FoldrajziKozlemenyek_1943.pdf)
- USGS. (2020). *Grand Canyon Geology*. Forrás: Geology and Ecology of National Parks (United States Geological Survey): <https://www.usgs.gov/science-support/osqi/yes/national-parks/grand-canyon-geology>
- USGS EROS Archive. (dátum nélk.). *USGSEROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. Letöltés dátuma: 2020. április 6., forrás: USGS EROS Center: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc>
- Uzsoki, A. (2008). *Tihany (történelmi emlékhelyek, műemlékek, természeti értékek)*. Veszprém: Tihany Község Önkormányzat, Tourinform Iroda.
- Yusuf, B. (2015. november 10.). *3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara*. Forrás: All3dp.com: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>
- Zsoldi, K. (2016). *3D-s térképészeti alkalmazások (doktori (Ph.D.) értekezés)*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék. Letöltés dátuma: 2020. március 8.



## 9. Ábrajegyzék

1. ábra: A Warp (Reproject) eszköz paraméterei QGIS-ben	8
2. ábra: Advanced Digitizing panel QGIS-ben: a szabályos négyzet alakú terület kijelöléséhez szükséges az alfa szög megadása és zárolása	9
3. ábra: Az eredeti modell (balra) és a korrigált modell felszeletelve (jobbra). Felülnézeti ortografikus rétegnézet Ultimaker Cura-ban, a Tihanyi-félsziget északnyugati részét ábrázolva. A jobb alsó sarokban egy megvilágított, plasztikus nézet látható, amin az árnyékoknak köszönhetően szépen kirajzolódik a változás.	11
4. ábra: Egy háromszög felület normálvektora, Forrás: OpenGL Normal Vector Transformation (Song Ho Ahn), <a href="http://www.songho.ca/opengl/gl_normaltransform.html">http://www.songho.ca/opengl/gl_normaltransform.html</a>	12
5. ábra: A "modellhatar" rétegen kijelölt terület (balra) és a DEMto3D QGIS-plugin paraméterei (jobbra)	13
6. ábra: DEMto3D Spacing: a modellenél használt 0,6 mm-es (balra) és a kevésbé részletes és nem ajánlott 1 mm-es Spacing érték (jobbra) összehasonlítás). A kivágaton a fennsík déli része látható árnyékolt domborzattal.	14
7. ábra: DEMto3D Base height: 205 m alappal készült (balra) és 100 m alappal készült modell (jobbra). A zöld színű felülettel lesz magasabb az oldalfal. A két modell-részlet azonos méretarányban, oldalnézetben látható.	15
8. ábra: A Blacktail Canyont ábrázoló, generált STL modell, Blenderben (két fényforrást használva)	16
9. ábra: A behívott mesh-modell, Autodesk Fusion 360-ban	17
10. ábra: Design History funkció kikapcsolása	17
11. ábra: A Reduce parancs paraméterei	18
12. ábra: Ugyanazon terület a mesh modell redukálása előtt (balra) és után (jobbra)	18
13. ábra: A BRep-pé konvertált modell	19
14. ábra: Sketch létrehozása – a három választható sík	19
15. ábra: Az YZ síkon elhelyezett szöveg (ábrázolt terület) és paraméterei, Sketch módban	20
16. ábra: Az XZ síkon elhelyezett szöveg (méretarány, túlmagasítás) és paraméterei, Sketch módban	20
17. ábra: Az YZ síkra bemélyítendő szöveg és az Extrude paraméterei	21
18. ábra: A Blacktail Canyont ábrázoló, módosított STL modell, Blenderben (két fényforrást használva)	22
19. ábra: A modell módosítás előtt (balra) és után (jobbra), Blenderben (két fényforrással)	22
20. ábra: A Descartes-féle koordináta-rendszer alapú, FDM típusú 3D-nyomtató tengelyeinek és szerkezetének illusztrációja. A kék fogaskerekeket az Extruder motorja hajtja, a piros blokk a fűtőtest, a narancssárga pedig a fűvóka (saját illusztráció)	24
21. ábra: Creality Ender 3 3D-nyomtató nyomtatás közben	25
22. ábra: A Grand Canyon modell első 24 rétege, 20%-os grid kitöltéssel, az Ultimaker Cura rétegnézetében	27
23. ábra: Ultimaker Cura: rétegnézet (Preview munkafelület)	28
24. ábra: Az egyik normál modell 20%-os grid kitöltése nyomtatás közben	28
25. ábra: A Tordai-hasadék makettje nyomtatás közben	28
26. ábra: Tordai-hasadék	29
27. ábra: Tihanyi-félsziget	29
28. ábra: Pelsőci-fennsík	29
29. ábra: Grand Canyon - Blacktail Canyon	29
30. ábra: Badacsony	32
31. ábra: Badacsony oldalnézetben	32
32. ábra: John Spilsbury: "Europe divided into its kingdoms, etc." (1766), Forrás: Wikimedia Commons, CC0 (Universal Public Domain)	33
33. ábra: Devin Montes "Printer Clearance Test Puzzle" STL-csomagja, kinyomtatva. A kép forrása: a letölthető csomag adatlapja, a MyMiniFactory.com oldalon	34
34. ábra: A Dunakanyar makettjénél használt vektoros formátumú vágórajz, Adobe Illustratorban	34
35. ábra: DXF fájl importálása Fusion 360-ban	35
36. ábra: A vágórajzból létrehozott test	36
37. ábra: A kirakós darabjainak adott azonosítók	36
38. ábra: Dunakanyar (kirakás közben)	37
39. ábra: Dunakanyar (kirakott állapotban, a keretben)	37

A végső makettekről készült és egyéb fényképek nagyobb felbontásban megtalálhatóak a mellékletben.

## 10. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet nyilvánítani témavezetőmnek, Albert Gáspárnak, akinek a konzultációk során adott iránymutatása és szakértelme nagy segítség volt a dolgozatom elkészítésében. Köszönöm, hogy elvállalta az általam felhozott témát, és türelmesen segített annak kidolgozásában és megfelelő irányba terelésében.

Köszönöm továbbá bátyámnak, Dávidnak, aki megismertette velem a 3D-nyomtatást és segített, ha bármilyen problémával fordultam hozzá a 3D-nyomtatás terén.

## 11. Nyilatkozat

Alulírott, Balla Dániel (NEPTUN azonosító: G3WSRX) nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2020. május 15.

.....*Balla Dániel*.....  
a hallgató aláírása