

Papp Ferenc Barlangkutató Csoport

Barlangtérképezés

Térbeli modellezés

Holl Balázs

2019

nyolcadik változat  
második kiegészítés

8.2

(első változat 2011)

## **Térbeli barlang modellezés**

A barlang térbeli forma. Minden megjelenítése (térképe) valamilyen térbeli test vetülete. Ha pontos térképet szeretnénk, akkor pontos térbeli adatokat kell rögzíteni. Ha viszont sikerül egy három dimenziós modellt alkotni, akkor a mai számítógépes világban minden eszköz megvan rá, hogy ezt megjelenítve képet kapjunk a barlangról. A modell alatt azt a térbeli (egyszerűsített) adathalmazt értjük, ami (jelen esetben) az ábrázoláshoz szükséges. Lehetnek persze más célú modellek is (hidrológiai, klimatológiai, ...) és ezek nem is feltétlenül térbeli geometriai adatokat tartalmaznak. Megkülönböztetésül makettnek nevezzük a fizikailag, térben létrehozott barlang szobrot. Fontos tisztázni, hogy milyen célból alkotjuk a modellt. Ha csak a térbeli kiterjedés ábrázolása a feladat akkor elhanyagolhatunk sok mindent. De ha fizikai, kémiai paramétereket szeretnénk számolni a modell alapján akkor nem tehetünk akármilyen egyszerűsítést. Ha például a barlangi légáramlást (huzatot) akarjuk modellezni, nem idealizálhatjuk a folyosót egy sima csővel, mert annak légellenállása jelentősen kisebb mint a szabálytalan tagolt, érdes barlangjáratnak. Térfogat számításnál pedig nem hanyagolhatjuk el a kis hasadékokat, repedéseket, omladék alatti tereket. Még nagyobb hibát vétünk, ha több egymást erősítő paramétert is figyelmen kívül hagyunk. Tömeg számításnál például a térfogatra és a sűrűsége is pontos becslést kell tennünk miközben a barlang felmérése egyikre sem szolgál elégséges adattal.

## **pont modell**

### **poligon pontok**

Csak a logikai rend és a történeti hűség kedvéért érdemes említeni. A mérési pontok három dimenziós koordinátáit kiszámolva egy pontokból álló adatállományt kapunk. Régi, korlátozott megjelenítési lehetőségű számítógépeknél volt olyan módszer, hogy csak a poligon pontokat rajzoltuk ki tetszőleges vetületben. A pontok összefüggéseit nem mutatta semmi.

### **lézerszkennelés**

A másik véglet, hogy olyan sok pontot ábrázolunk, hogy azok már felületekké állnak össze. A modern lézerszkennerek fejlesztésének iránya az, hogy minél több pontot minél gyorsabban mérjenek meg. A pontoknak nem csak geometriai adataik vannak (XYZ koordináta), hanem a lézersugár visszaverődésének intenzitása is (mint egy fekete-fehér kép) és egy színes digitális fényképből szín információt is rendelnek hozzá (RGB). Az ilyen módon színezett pontfelhő a műszer irányából tökéletes gömbpanoráma képet alkot. Más nézőpontból már előtűnnek a takarások miatti hiányok. A szín információ is erősen függ a megvilágítástól. Amíg a takarásokat több műszerálláspontból készült felvételezéssel elvileg meg lehet szüntetni, addig a színek továbbra is a megvilágítástól függenek. A takarások mellett a pontsűrűség is a műszer helyzetétől függ. Az olyan falfelületeken, amit a lézersugár éppen hogy csak súrol, sokkal ritkábban lesznek a pontok mint a közeli, merőleges felületeken. Ez későbbiekben a pontmodell felületmodellé alakításánál jelent majd gondot.

### **fotogrammetria**

A lézerszkenneléshez hasonlóan térbeli pontokat kapunk a kiértékelés után. Könnyebb a barlangi felvételezés, csak nagyon nehéz sok jó fotót készíteni. A képek segítségével viszont könnyebben ki tudjuk alakítani a felület modellt a mért pontokból.

A pont modellt tovább lehet fejleszteni például a fotó vagy lézer irányát hozzárendelve a felületi normálisra kapunk közelítő adatot (melyik irányból látszik biztosan), így a későbbi felület modellezés is könnyebb. A pontokhoz rendelhetünk további adatokat, például a már említett színt vagy anyagminőséget aminek segítségével a megjelenítés plusz információt kap. De rendezhetjük olyan struktúrába is (például megadhatjuk az egy metszethez tartozó pontokat sorrendben), amivel később könnyebb azokat a felületek mentén összekötni.

## **vonal (poligon) modell**

A legáltalánosabb ábrázolási mód, hogy a mérési poligont vonalakkal szemléltetjük. Az adatok ugyan úgy a mérési pontok, csak a köztük lévő összekötéseket is figyelembe vesszük (strukturált

pont modell). A sokszögvonala tetszőleges irányú vetülete, térbeli forgatása, térhatású (3D sztereó) megjelenítése alkalmas a barlang fő járatainak (ahol a poligont végigmértük) egymáshoz viszonyított megjelenítésére. Nem ad viszont támpontot a járatok keresztmetszetére vonatkozóan. Hatalmas barlanglabirintusok esetében ez az ábrázolás is jól szemlélteti az összefüggéseket és a térbeli jellegzetességeket (fő irányok, síkok), de leginkább csak a minimálisan rendelkezésre álló adatok miatt használjuk (magyarul: nincs más).

### **Sündisznó modell**

A részletpontok térbeli mérésével kiegészített poligon már alkalmas a járatok és termek méreteit is ábrázolni. Minél több részletpont van, annál érzékletesebb a kép. De a pontok sűrűsége még így sem elég ahhoz, hogy a pontok összefüggő alakzattá álljanak össze, ezért a mérési vonalat is kirajzoljuk. A DistoX kifejezetten alkalmas arra, hogy sok (a főpoligonnal egyenértékű, 3D) mérést végezzünk egy pontból. Az ilyen ábra olyan mint egy sündisznó: kissé rendezetlen vonalak alkotta tűpárna. Extrém esetben ezek a részletpontok teljes felületeket lefednek, de inkább jellemző az, hogy egy-egy keresztmetszetet mutatnak meg elegendően sűrű pontsorról.

### **metszet vonal modell**

A barlang járatokat jellemző metszet annyival több információt tartalmaz mint a felvételéhez mért pontok, amennyi munkával a helyszínen megrajzoljuk. A keresztmetszeteket ha térben a helyükre illesztjük, akkor metszet vonalai a járat méretéről és alakjáról információt adnak. Ritkán felvett metszetek esetén ezek nem állnak össze képpé, de több információt tartalmaznak mint csak a poligon modell. Sűrűn felvett keresztmetszetek viszont már jól jellemzik az adott járatot. A metszetek rajzolása időigényes feladat, de ezek rendelkezésünkre állnak régi felmérésekből is. Kérdés csak az, hogy elegendő adatunk van-e a metszetek térbeli elhelyezésére. Alaprajzi helyzetét a metszetnek meg szokták adni, de a magassági adat legtöbbször hiányzik.

### **felület modell**

A számítógépes modell ábrázolásának plasztikusabbá tételéhez szükségesek a megvilágításból eredő hatások. Ehhez felületeket kell definiálni.

A felületeknek lehet színük, így az árnyalásnál (a megvilágítás irányától függő színezés: a megvilágításra merőleges felületek világosabbak mint azok amelyek sűrűfényt kapnak) plasztikusan mutatják helyzetüket. A felületekre vetíthetünk mintázatot is ami úgy viselkedik mintha apró részleteket modelleznénk az egyébként homogén felületen.

A felületek lehetnek irányítottak is. Ilyenkor különböző tulajdonságokat lehet rendelni a két oldalukhoz. Például egyik irányból lehet átlátszó ami azt eredményezi, hogy a barlangba kívülről belátunk, de belülről a falakat látjuk. A felület modellenél megengedhető, hogy csak a felületek egy részét adjuk meg, nem kell hogy zárt legyen a modell.

Pont és poligon modelleket is ki lehet terjeszteni térbeli felületekké (golyók, pálcikák) úgy, hogy azok nem adnak valódi többlet információt a barlang járatok keresztmetszetéről, csak a megjelenítést segítik, de (bár számos trükkös lehetőség kínálkozik) ezekkel most nem foglalkozunk. Fontosabbak a valódi térbeli adatokon alapuló felületmodellek.

### **metszet**

A metszetek összekötésével megpróbálkozhatunk felületmodellt alkotni. Ha elegendően sűrűn veszünk fel metszeteket, akkor azok összekötése felületté elvileg jól jellemzi a barlangot. Sajnos az elegendően sűrűn kifejezés csalóka. Egyrészt a barlangi formák végtelen bonyolultsága (fraktál jelleg) miatt még a nagyon sűrűn felvett keresztmetszetek is nagy ugrásokat mutatnak, másrészt az elágazásoknál a metszetek mechanikus összekötése plusz információk nélkül elvi problémákba ütközik. Az is ritka, hogy egy folyosóról több metszet áll a rendelkezésünkre. Metszetek alapján viszont készíthetünk olyan idealizált járat formákat (kör, szilvماغ, kulcslyuk, ...), amikkel már alkothatunk modellt a térbeli ábrázoláshoz.

### **jbfl**

Jobb, bal, fel, le (angolul: rlud): a barlangjárat szélessége és magassága a poligonpontokban mérve. Ezeket a méreteket feljegyezhetjük a mérési jegyzőkönyvbe. Bár van néhány elvi probléma, de ezektől eltekintve az adatokból létrehozhatunk szögletes vagy ívelt formákból álló felületeket. A

felületek nem a barlangjárat alakját követik, de a méretek valóságosak. A legnagyobb járat szélesség és magasság adatokat lemérhetjük a barlang alaprajzáról és oldalnézetéről vagy a metszetrajzokról is. Így akár utólag is kiegészíthetjük a mérési jegyzőkönyvet ezekkel az adatokkal.

### **sűrű pontfelhő**

Elsősorban lézerszkenneres mérésekből kapott sűrű ponthalmazban a nagyjából szabályos rendben (a lézerszkennér vonalakban pártáz) elhelyezkedő pontokat (ponthármasokat) összeköthetjük kis háromszögekkel. A takarások miatt nem összefüggő felületeket elválaszthatjuk valamilyen algoritmussal vagy hosszadalmas kézi munkával. A háromszögeknek irányítottságuk van: a szkennelés irányából a barlang, a másik irányból a kőzet van. A felületdarabok színét és mintázatát a szkennelés közben felvett képekből nyerjük.

### **ritka pontfelhő**

DistoX-es mérésből kapott térbeli ponthalmaz nem elég sűrű ahhoz, hogy csak a szomszédos pontokat egyszerűen összekössük. Többféle algoritmust alkalmazhatunk, tökéletes megoldás nincs. A PocketTopo 3D exportja például egy-egy poligonszakasz legkülső pontjai köré készít burkoló felületet. Előnye viszont a módszernek, hogy korlátlanul sűríthető, így közelíthető a barlang valódi formája ha szükséges.

### **test (térfogat) modell**

Homogén anyagoknál a határoló felületek tökéletesen leírják a teret (fizikai modellszámításokban is), csak az a fontos hogy mindenhol tökéletesen zártak legyenek. A test modellezésnek létezik is olyan módja, hogy csak a határoló felületekkel operálunk. A valódi test definiálása ott lehet érdekes, ahol az anyag inhomogenitását is figyelembe akarjuk venni.

Az egyik térfogat modellezési mód a raszteres megjelenítéshez hasonlítható: kis kockákkal modellezzük a teret. Ezt hívják voxel modellnek. Előnye, hogy a modell véges felbontású (bonyolultságú). Egyszerűen megadható a geometria (x, y, z koordinátája van minden térfogatelemnek), és minden elemhez rendelhetünk különböző tulajdonságokat. Például lehetnek egyes elemek kőzet, más elemek a barlang (üreg) részei. De könnyen definiálható a geológiai rétegek eltérő anyagtulajdonságai is. Többféle tulajdonságot is modellezhetünk egyszerre: lehet például minden térfogat elemnek más a hőmérséklete is, ezzel a huzat kialakulását számíthatjuk. Voxel modellt létrehozhatunk úgy, hogy az egyébként tömör kőzetként definiált térfogathoz kivonjuk a biztosan levegővel (vizzel) kitöltött térfogat elemeket. Elsőként a poligon vonal által metszett elemeket, hiszen a mérés nem haladhat át kőzeten. Utána kiterjesztjük ezt a vonalat olyan keresztmetszetűre, hogy egy ember át tudjon bújni. Itt már kérdéses, hogy a poligon melyik oldalán mekkora helyet kell hagyni. Ha vannak keresztmetszet vonalak, akkor azok belseje is üreg. A sündisznó mérés szinte az egész üreg térfogatát megadja, persze a mérési pontból indulva egyre ritkábbak a vonalak, egyre nagyobb a bizonytalanság a vonalak közti térről.

A műszaki test modellezésnél használnak olyan módszert, amikor szabályos alapidomokból (kocka, henger...) építkezve hoznak létre komplex formákat. Barlang és felszín modellezésénél ezt csak a mesterséges alakzatok (táró, lépcső, épület...) modellezésére tudjuk felhasználni.

A test modellek ábrázolásakor vissza kell térnünk a felületek leírásához, hiszen a térfogathoz szinte semmilyen látható képünk nincs, mindig a felületekről verődik vissza a fény. A voxel modell különböző metszetei mutatják meg, mi van a test belsejében, vagy egyes anyagokat átlátszóvá téve a többi felülete jelenik meg.

### **felszín ábrázolása**

A barlang térbeli modellezéséhez szorosan hozzátartozik a barlang feletti felszín szűkebb-tágabb környezetének modellezése, ábrázolása. Itt is alkalmazhatunk minden (pont, vonal, felület, test) modellezési megoldást, csak a felmérés módszere más. A bejárat szűkebb környezetét még érdemes barlangi mérési módszerekkel felmérni (DistoX sündisznó, fotogrammetria), de nagyobb területet már más módszerekkel mérhetünk, esetleg meglévő adatforrásból kaphatunk meg.

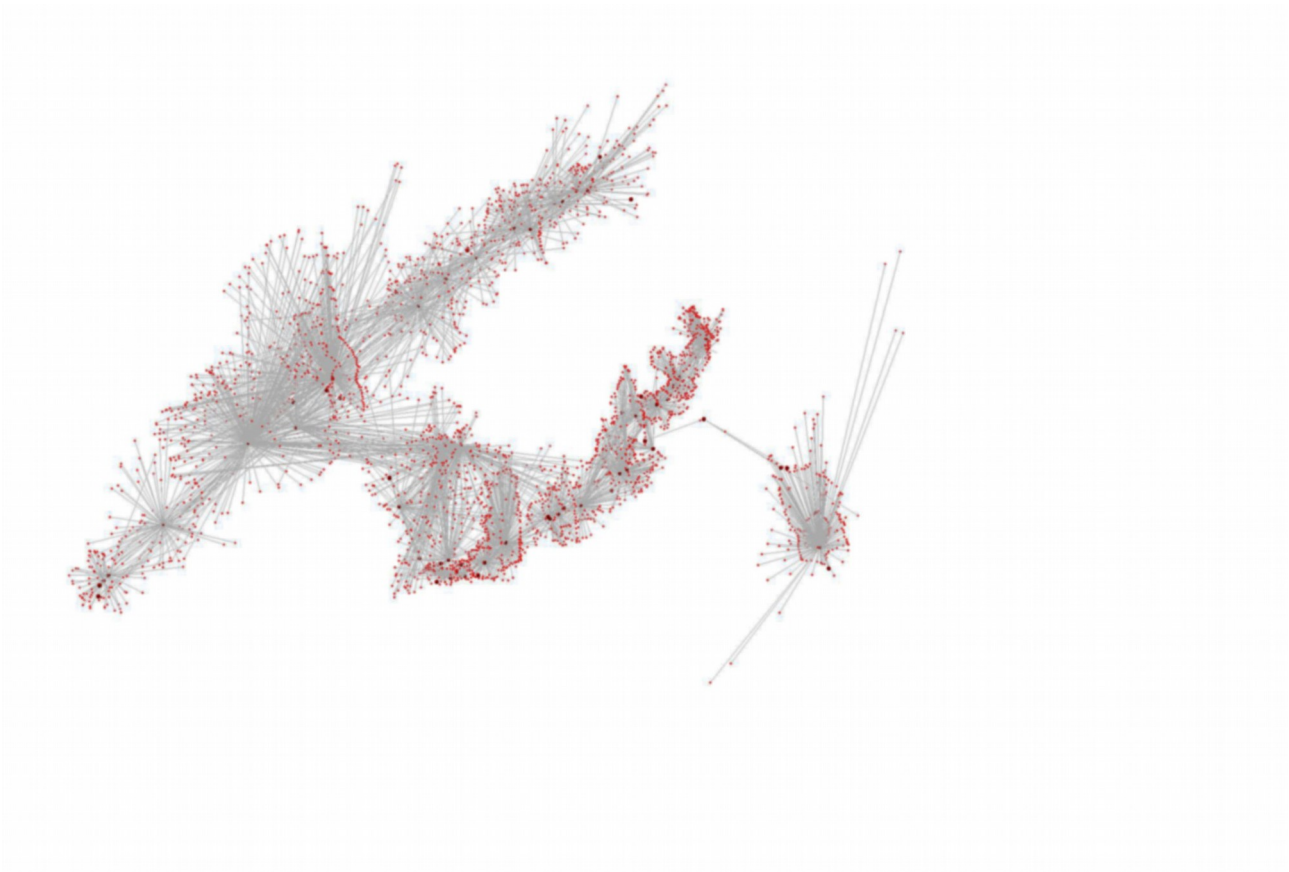
A felszínrel együtt ábrázolt barlang modell esetén természetesen biztosítani kell a láthatóságot. A felszín vagy vonalasan (rácsháló vagy szintvonal) vagy áttetsző felületként helyezhető a barlang

főlé.

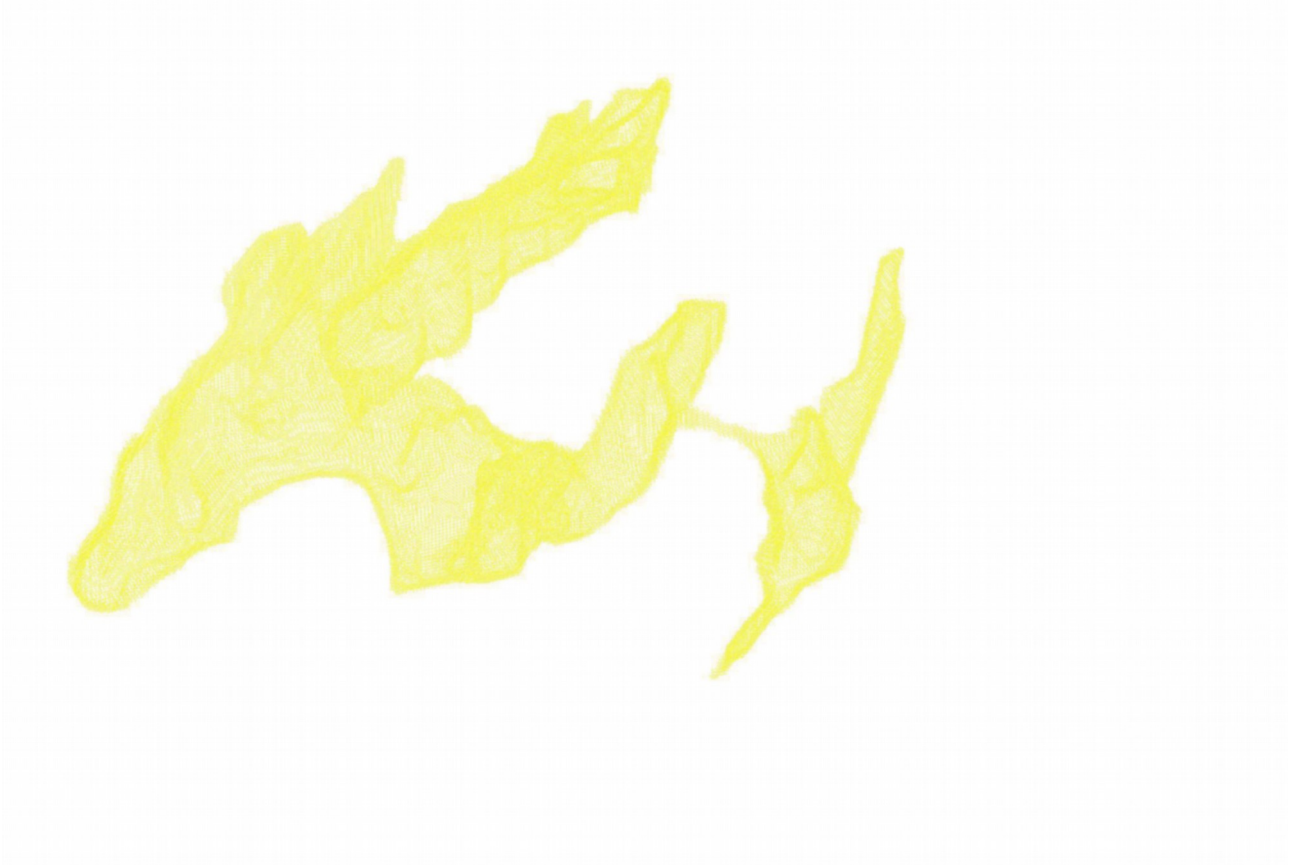
Természetesen megfelelő programokkal a különböző modellezési eljárásokból származó adatok együtt kezelhetők és megjeleníthetők.



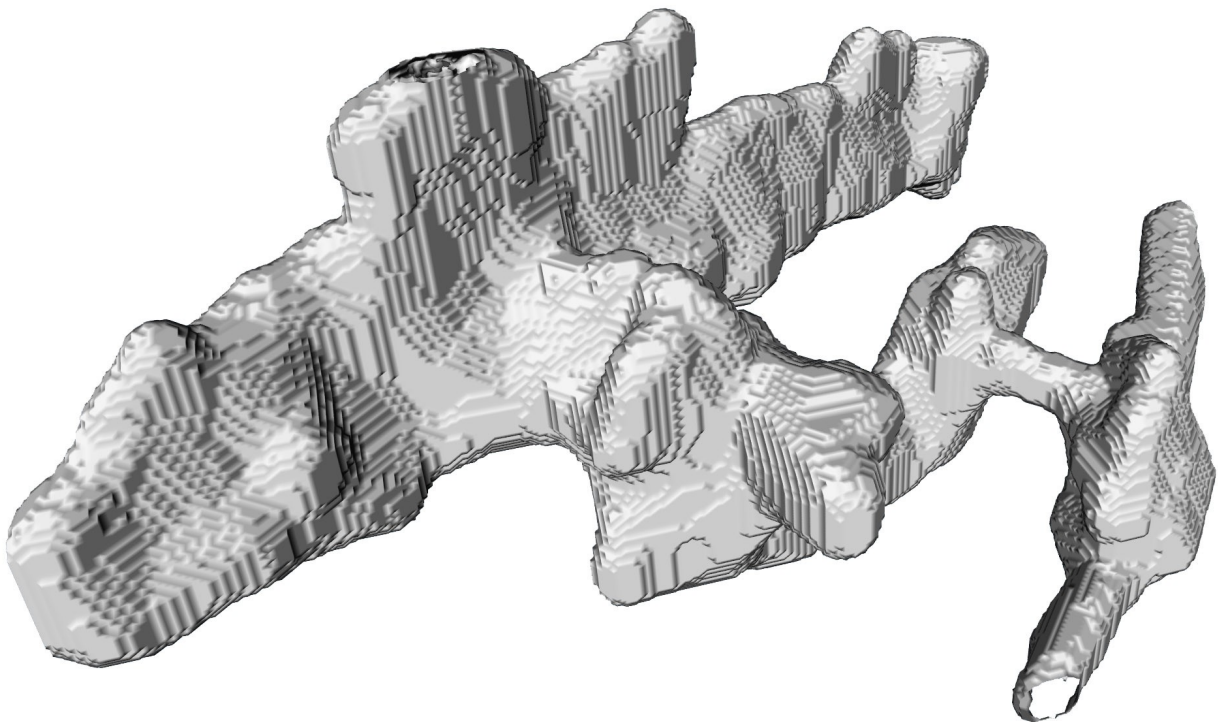
1. *Ábra: Szemlő-hegyi-barlang (részlet) metszet-vonal modell (Horváth János térképe alapján)*



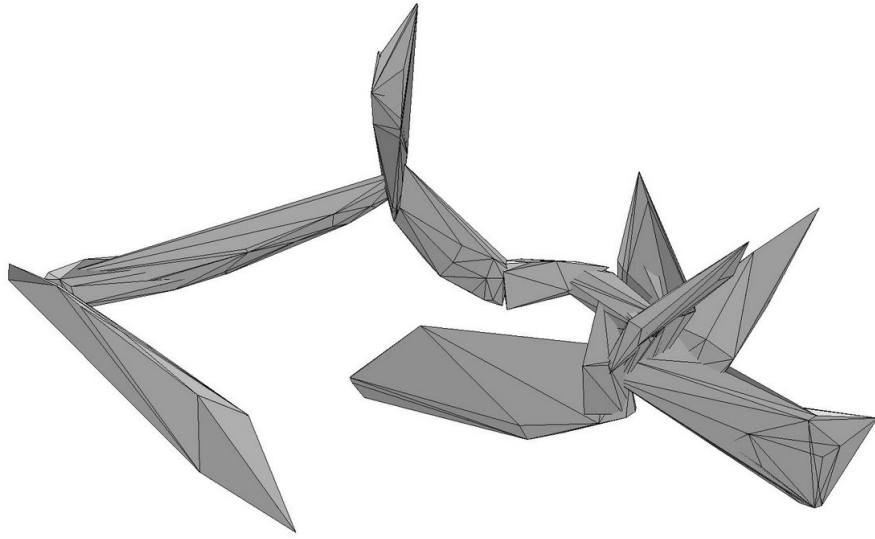
2. *Ábra: Szemlő-hegyi-barlang (részlet) sündisznó modell ritka pontfelhővel*



3. *Ábra: Szemlő-hegyi-barlang (részlet) ritka pontfelhő besűrítése*

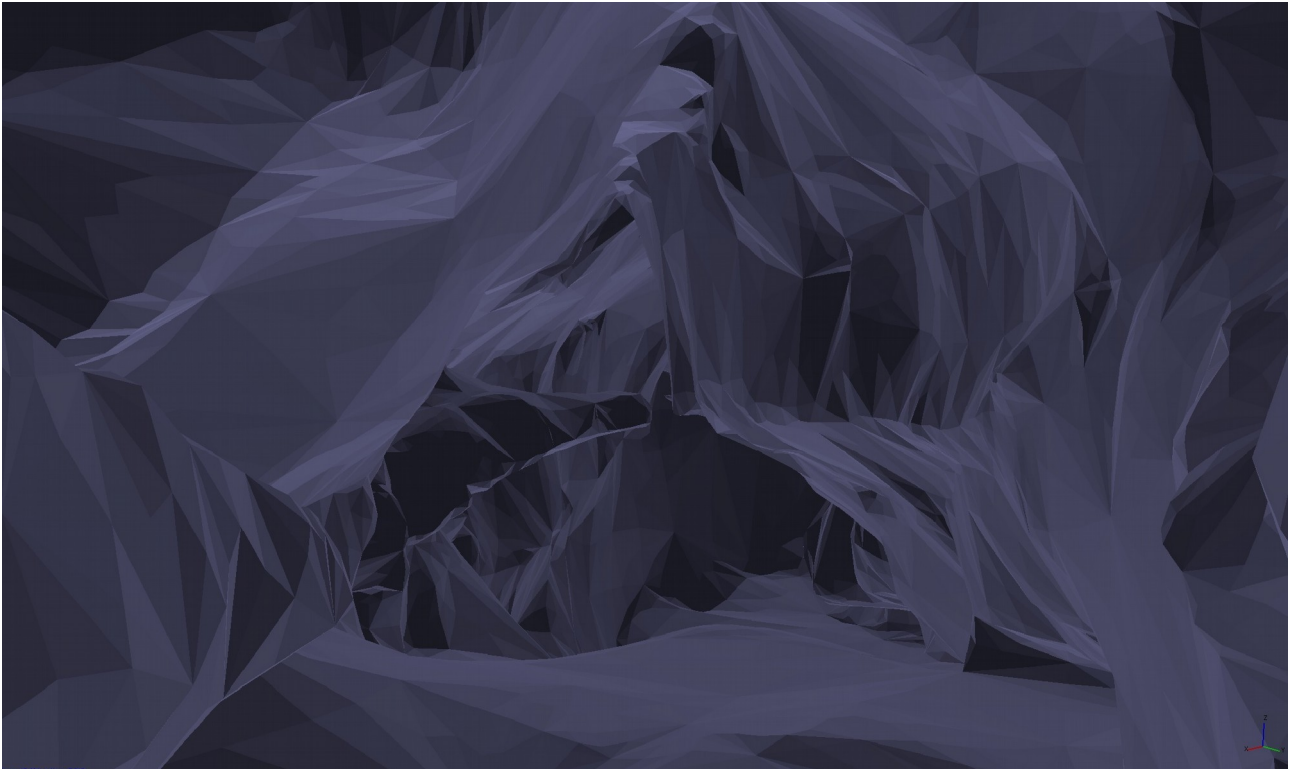


4. *Ábra: Szemlő-hegyi-barlang (részlet) voxel modell felület modellé alakítása*



5. Ábra: PocketTopo felületmodellje





6. Ábra: Mátyás-hegyi-barlang, Sóhajok-hídja. Felületmodell belülről sündisznózásból. (Gáti Attila feldolgozása)



7. Ábra: Mátyás-hegyi-barlang, Sóhajok-hídja. Textúrázott felületmodell fotómodellezéssel.