

## GÓTIKUS MIKROARCHITEKTURÁLIS ALKOTÁSOK 3D SZKENNELÉSÉNEK MÓDSZEREI ÉS PROBLÉMÁI

Bereczki Zoltán 

adjunktus, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék  
4032 Debrecen, Ótemető u. 2–4., e-mail: [bereczki.zoltan@eng.unideb.hu](mailto:bereczki.zoltan@eng.unideb.hu)

### Absztrakt

A gótikus építészet procedurális jellegének vizsgálata során gótikus épületek és mikroarchitekturális alkotások (szentségházak, oltárkoronák) 3D-szkennelését végeztem el Kelet-Szlovákia és Északkelet-Magyarország területén. Ezen mikroarchitektúrák vizsgálata kiemelkedő fontosságú, mivel a gótikus geometriai szabályok egységesen érvényesültek mind az építészet, mind a mikroarchitektúra szintjén. A kutatás során alkalmazott 3D-szkennelési módszerek – hagyományos lézerszkennő, fotószkennelés, fotószkennelés iPhone-nal, lidar-szkennelés – különböző előnyökkel és kihívásokkal jártak. A kutatás során szerzett tapasztalatok és a különböző szkennelési módszerek összehasonlítása hozzájárulnak a gótikus mikroarchitektúra és így a gótikus építészet pontosabb dokumentálásához és megértéséhez.

**Kulcsszavak:** gótika, Szlovákia, mikroarchitektúra, 3D-szkennelés

### Abstract

In the course of the current research, Gothic buildings and micro-architectural works (tabernacles, altar canopies) in Eastern Slovakia and Northeast Hungary were 3D scanned to investigate the procedural nature of Gothic architecture. The study of these micro-architectures is of outstanding importance, as Gothic geometrical rules were applied uniformly at both the architectural and micro-architectural levels. Traditional laser scanner, photo scanning, photo scanning with an iPhone, and lidar were used in the research, with different advantages and challenges. The experience gained during the research and the comparison of different scanning methods contribute to a more accurate documentation and understanding of Gothic micro-architecture and thus Gothic architecture.

**Keywords:** Gothic, Slovakia, micro-architecture, 3D-scanning

### 1. Bevezetés, előzmények

A jelen cikkben ismertetett projektek egy nagyobb kutatás részét képezik, melynek tárgya a gótikus építészet procedurális jellege. A kutatás során Kelet-Szlovákiában több gótikus épület és mikroarchitekturális alkotás (elsősorban szentségházak és oltárkoronák) 3D-szkennelését elvégeztem, ezeket egészítette ki egy mikroarchitekturális alkotás (Abaújszántó) és több gótikus épületbelső (Abaújszántó, Korlát, Bodrogkeresztúr) felmérése a csatlakozó Északkelet-Magyarországi régióban. A mikroarchitektúra vizsgálata azért releváns, mert ezen a területen a mikroarchitektúra fennmaradt alkotásai európai színvonalúak, és viszonylag nagy számban megtalálhatók. Mivel a gótikus tervezésnek egy különleges sajátossága, hogy – bizonyos határok között – azonos geometriai szabályok érvényesültek mind az építészet, mind a mikroarchitektúra szintjén (Bork, 2004; Kratzke et al., 2008),

a mikroarchitekturális alkotások vizsgálatával megszerzett információk a gótikus építészetről, geometriáról is fontos információkat hordoznak.

A kutatás során eddig az alábbi mikroarchitekturális alkotások 3D-szkennelését végeztem el:

- oltárkorona, Mária koronázása-oltár, Szepeshely (Spišská Kapitula, Szlovákia), Szent Márton-templom,
- a lőcsei (Levoča, Szlovákia) Szent Jakab-templom gótikus oltárkoronái,
- Szent Erzsébet-dombormű fölötti baldachin, Kassa (Košice, Szlovákia), Szent Erzsébet-templom,
- szentség ház, Kassa (Košice, Szlovákia), Szent Erzsébet-templom,
- szentség ház, Lőcse (Levoča, Szlovákia), Szent Jakab-templom,
- szentség ház, Kassa (Košice, Szlovákia), Szent Mihály-kápolna,
- szentség ház, Rozsnyó (Rožňava, Szlovákia), székesegyház (egykori plébániatemplom),
- szentség ház, Gölnicbánya (Gelnica, Szlovákia), római katolikus plébániatemplom,
- befejezetlen(?) szentség ház, Szepesolaszi (Spišské Vlachy), római katolikus plébániatemplom,
- szentség ház, Abaújszántó, római katolikus plébániatemplom,
- szoborbaldachinok, Pozsony (Bratislava, Szlovákia), ferences templom, Szent János-kápolna.

Ezen mikroarchitekturális alkotások 3D-szkennelése azért jelent kihívást, mert geometriailag meglehetősen komplex, áttört struktúráról van szó, ahol – módszertől függetlenül – nehéz azt elérni, hogy a geometria minden egyes elemét „lássa” az eszköz. További probléma, hogy a megvilágítás gyakran hátulról érkezik (az objektumok ablakok közelében helyezkednek el), ami meg tudja zavarni az érzékelőket. Az egy irányból érkező erős fény ezenkívül túl nagy kontrasztokat hoz létre, amit szintén nem szeretnek az érzékelők. Az oltárkoronák esetében problémát jelent az aranyozás: a tükröződő felületeket nehezen értelmezik az eszközök (**1. ábra**). Szintén nehézség, hogy a templombelsőket gyakran gyengén megvilágítottak (vagy ha nem, akkor a fény hátulról vagy egy oldalról érkezik, lsd. fentebb). Szintén problémát jelent, hogy az objektumok gyakran nem körüljárhatóak, ez főleg a fotogrammetriánál és a lidar-szkennelésnél jelent nehézséget.

A történeti épületek 3D-szkennelése az építészettörténeti kutatásoknak fontos és gyorsan fejlődő területe. Hazánkban elsősorban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen folynak kutatások a témában (pl. Somogyi et al., 2017; Lovas et al., 2018; Fehér et al., 2018). Jelen írás egy konferencia-előadás szerkesztett változata (Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Miskolci Egyetem, 2024. V. 22), így túlmutatna keretein a vonatkozó kutatások, eredmények bemutatása; a cikk ehelyett műhelytanulmányként egy sajátos problémát jár körbe személyes tapasztalatok alapján.

## 2. Az alkalmazott 3D-szkennelési módszerek bemutatása

### 2.1. Hagyományos lézerszkennő

Ennél a módszernél egy mérőállomást (műszert) használunk, amit egy fix ponton felállítunk, háromlábú állvány (tripod) segítségével. Fontos, hogy a szkennő függőleges tengelye valóban függőlegesen legyen pozicionálva, ebben az állványba épített libella segít. A szkennőben vízszintes tengely körül egy tükör forog, illetve maga a műszer képes a saját függőleges tengelye körül forogni. Ilyen módon a szkennő által kibocsátott lézersugár a szkennő körül vízszintesen 360 fokban letapogatja a teret, függőlegesen pedig eszköztől függően a szkennő alatt és fölött marad egy valamekkora vakfolt. Emiatt és a szkennő által belátott felületek maximalizálása érdekében is fontos, hogy ahol lehetőség van rá, ne csak a

talajszinten vegyünk fel állásokat. A szepeshelyi és a lőcsei templom esetében a karzatok kínáltak erre lehetőséget.



*1. ábra. A szepeshelyi Mária koronázása-oltár részlete. Forrás: a szerző fotója.*

A készülékből kibocsátott lézersugár beleütközik a felületekbe, és a készülék ezeknek a visszaverődéseknek a relatív háromdimenziós pozícióját rögzíti. A pozíció azért relatív, mer az origó minden állásban a szkennelő maga, tehát a különböző állásokban készült pontfelhőket utólag kell összeilleszteni. A munkához a Debreceni Egyetem Műszaki Kara Építőmérnöki Tanszékének Stonex X300-as szkennelőjét használtam (**2. ábra**).

A munkamenet a Stonex X300 esetében a következő. Először is, mivel a szkennelő minden állásban csak azokat a pontokat rögzíti, melyekre közvetlenül „rálát”, a helyszínen megfelelő számú állást kell felvenni. A szepeshelyi templombelső esetében ez 12 db volt, de ez a belső nyugati részét (a karzatot és a karzat alatti részt) csak részben fedte le. A lőcsei templombelsőben 15 állást vettem fel, és ebben szintén nincsenek benne a karzatok, a karzatok alatti terek, és a torony melletti mellékterek. Ezek jelen kutatás szempontjából nem relevánsak, és mindkét helyen ez volt az az állásmennyiség, ami a rendelkezésre álló időkeretbe belefért (ezekben a kiemelt műemlékekben többnyire külön írásos engedély szükséges a helyszíni munkához).

A következő lépés a nyers adatok exportálása. A Stonex X300 esetében ez úgy történik, hogy a készülék egy saját wifi-hálózatot generál, és erre rácsatlakozva webböngészővel lehet az adatokat letölteni számítógépre. A készülék az adatokat saját formátumban tárolja, ezeket először a készülékhez adott X300 Manager nevű szoftverrel át kell konvertálni olyan formátumba, amit a különböző állásokban készült pontfelhők összeillesztéséhez szolgáló, szintén a készülékkel együtt érkezett szoftver (Stonex Reconstructor) be tud olvasni.



**2. ábra.** A Stonex X300-as lézerszkennő a szepeshelyi templomban. Forrás: a szerző fotója

A következő lépés a pontfelhők összeillesztése a Stonex Reconstructor szoftverrel. Ez lehet manuális vagy automatikus. A manuális módszer esetében kézzel kell megmutatni a szoftvernek a különböző állások azonos pontjait, ez azonban nem túl pontos. Ha elég nagy az átfedés az állások között, akkor az iteratív módon működő automatikus módszer (Iterative Closest Point registration és Bundle Adjustment) megfelelő eredményt hoz. Az átfedést pontosan számszerűsíteni nehéz, de a tapasztalat azt mutatja, hogy ajánlatos, hogy a szkennert által letapogatott felületek legalább 25–30%-a látható legyen a szomszédos állásból is.

A szkennelés során keletkeznek olyan pontok is, melyek nem használhatóak, főleg tükröződő felületek és hátulról megvilágított objektumok esetén. A bevezetőben láttuk, hogy a gótikus mikroarchitekturális alkotások szkennelése során ezek a körülmények gyakran előfordulnak. Ezért szükséges a pontfelhők tisztítása-szűrése (filtering), illetve a kezelhetőbb adatmennyiség érdekében a resampling, amikor csak bizonyos pontsűrűséget tartunk meg. A Stonex Reconstructor mindkettőre szolgál megoldással.

A 3D-s pontfelhők azonban korlátozottan használhatóak CAD-szoftverekben. Egyrészt az adatmennyiség még resampling után is nagy marad, így nehézkesen kezelhető a nem erre kifejlesztett CAD-szoftverekben. Másrészt egy pontfelhő „átlátszó”: a pontok között látszanak a mögöttük lévő pontok, ami nem kívánatos. Ezért, ha alapvetően nem 2D-s nézetekre, rétegmetszetekre van szükségünk, felületháló generálása szükséges. Erre van a Stonex Reconstructorban is megoldás, de az Agisoft cég Metashape szoftvere jobban használható és tapasztalataim szerint jobb eredményt hoz.

A módszer hátrányai röviden összefoglalva a következők:

- Az adatfelvétel időigényes: közepes pontsűrűséggel egy nap alatt maximum 15 állás vehető fel, és ez többnyire nem elég egy teljes épület külső-belső szkenneléséhez.
- Az X300 esetében a pontfelhő szürkeárnyalatos. A szkennert nem látja a színeket. A szoftver utólagosan tudja színezni a pontokat, de ehhez fotókat használ, amiket a készülékbe épített kamera rögzít minden állásnál, miután a pontokat felvette. A beépített kamera minősége azonban nem elég jó ahhoz, hogy belső térben használható képeket készítsen, így belső térben történő szkennelés esetén használhatóbb eredményt hoz, ha a pontok visszaverődés által számított

szürkeárnyalatos „színét” használjuk, mintha a kamera – általában igen sötét – fotói alapján színeznék őket.

- A pontfelhők feldolgozásának nagy a számításikapacitás-igénye.
- A kimenetként kapott pontfelhő nem alkalmas 3D-s szoftverben való továbbdolgozásra vagy vizualizációra, felülethálót kell belőle generálni (lsd. fent).
- A komplex geometriák (mint a cikk tárgyát képező alkotások) az eredményül kapott pontfelhőkben nem elég részletesek, és sok részük (ahova nem látott rá a szkennelők egyik állásból sem) hiányzik. A **3. ábrán** jól látszik mindez, illetve az is, hogy a hátsó megvilágítás miatt még szűrés (filtering) után is sok a nem megfelelő pont (ezek feketék).



**3. ábra.** A szepeshelyi oltárkorona Stonex X300-as lézerszkenneléssel, több állásból felvett pontfelhője.  
Forrás: a szerző munkája.

## 2.2. Fotószkennelés

A klasszikus fotogrammetriához képest itt a cél nem ortogonális projekciójú fotók létrehozása (bár ez is lehetséges), hanem fotók alapján 3D-s modell generálása. Az eszköz-igény itt meglehetősen szerény: szigorúan véve egy digitális fényképezőgépre és a megfelelő szoftverre van szükség.

A lézerszkenneléhez képest (amikor az állomás egy állásban fix ponton áll, és körbeforgó) itt fordított a logika: az adatfelvétel során a szkennelés tárgyát körbejárjuk, tehát az „állomás” mozog. Megjegyzendő, hogy megfelelő eredményhez a lézerszkennelésnél is több állásra van szükség (tehát az eszközt ott is mozgatni kell), ugyanakkor a lézerszkennelők egyetlen állásból is rögzítik azon pontok 3D-s pozícióját, amikre rálát, míg a fotószkenneléshez mindenképp mozgatni kell a kamerát: egy pontból "körbenézve" készített fotók alapján nem – vagy csak nagyon korlátozottan – tudja a szoftver a 3D-s geometriát rekonstruálni. Ez azt jelenti, hogy a fotószkennelés akkor működik a legjobban, ha az objektum teljesen körbejárható.

A munkamenet a következő: egy digitális fényképezőgéppel minél több oldalról, különböző magasságokból körbefotózzuk az objektumot, úgy, hogy az egymást követő fotók között csak csekély legyen az elmozdulás. Munkám során egy iPhone 12 Mini és egy iPhone 14 Pro Max telefont használtam. Ezeknek előnye, hogy rossz megvilágítási körülmények között is használható képeket produkálnak, nagy a látószögük, és HDR módban nagy dinamikatarományt átfognak (kevésbé zavarja meg őket a hátulról érkező fény). A felvételek készítése során fontos, hogy az összes felvételnek azonos fókusz távolsággal (zoom) kell készülnie, különben a szoftver nem tudja értelmezni az összetartozó képeket. Mivel az eredmény annál jobb, minél több szögből és magasságból tudunk képeket készíteni (annál kevesebb részlet marad takarásban), a fotózáshoz felhasználtam egy 3 m-re kitolható monopodot (Telesin Extended) is.

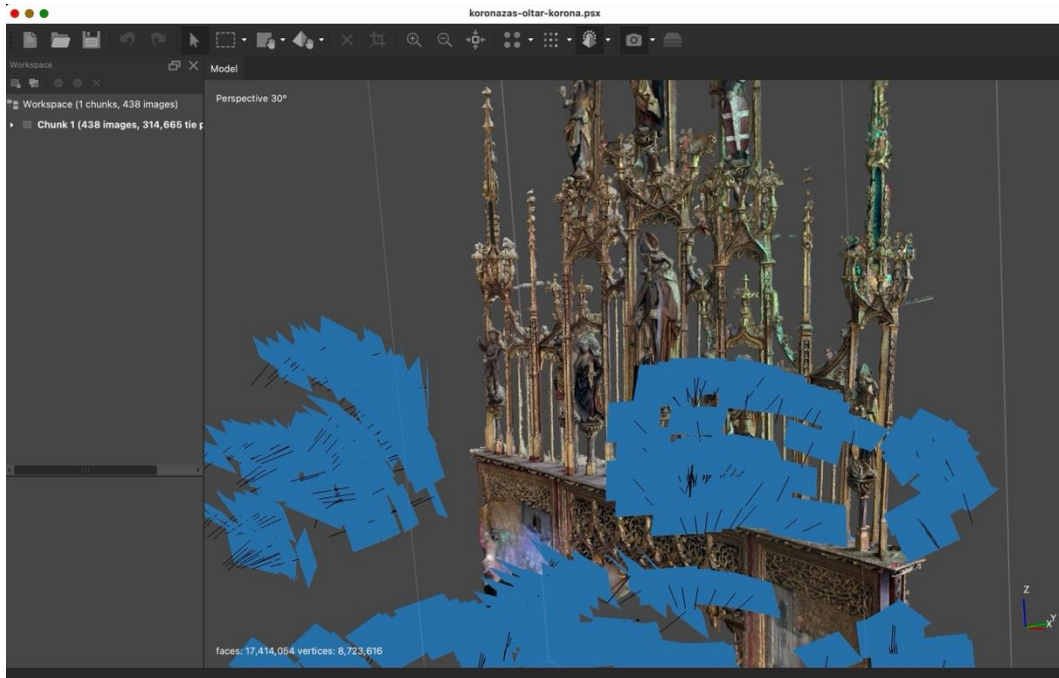
Egy oltár vagy szentség ház esetén először a talajszintről körbefotózom az objektumot. A következő lépésben félig kitolt monopoddal újra, ilyenkor még látható az iPhone kijelzője is. A következő lépés a teljesen kitolt monopod. Ilyenkor az iPhone kijelzője már nem látható, ezért Screensharing alkalmazásával az iPhone kijelzőjét egy MacBookra tükrözöm, amit általában a fotózandó objektum aljához közel helyezek el, így tudom ellenőrizni, hogy mit fotózok. Amennyiben van lehetőség létrát használni, akkor létráról még legalább két magassági szintben körbefotózható az objektum (kézből és monopoddal), így a magasabban lévő részek is jobb minőségűek lesznek. Az említett objektumok fotó szkenneléséhez 4–500 fotót készítettem objektumonként (**4. ábra**).



**4. ábra.** A szepeshelyi oltárkorona fotó szkennelése létráról. Forrás: Bereczki Dániel fotója

A következő lépés a fotók alapján a 3D-s geometria generálása. Ehhez a már említett Agisoft Metashape szoftvert használtam. A képek importálása után a szoftver először rekonstruálja a fotók pozícióját a 3D-s térben. A következő lépésben depth map-ek segítségével legenerálja a geometriát (felülethálót), színesben, jó minőségben textúrázva (**5. ábra**). A geometria generálása során extrapolál

is, tehát komplex, áttört geometria esetében (mint amilyenek a gótikus mikroarchitekturális alkotások) érdemes pontfelhőt is generálni, mert ezekben nincs extrapolált adat. Ez azért fontos, mert a felületháló generálása közben a program megpróbálja kitölteni a lyukakat a pontfelhőben, és a gótikus mikroarchitekturális alkotások komplexek, áttörtek, tehát a valóságban is vannak rajtuk „lyukak”. Így előfordul, hogy a felületháló generálása közben egyes, valódi áttörések eltűnnek, elemek összeolvadnak.



5. ábra. A szepeshelyi oltárkorona 3D-s modellje (felületháló) az Agisoft Metashape-ben, a felvételek pozíciójának feltüntetésével. Forrás: a szerző munkája.

A módszer hátrányai a következők:

- Csak körbejárható objektumoknál használható igazán jól.
- Több magasságból szükséges fotókat készíteni a jó eredményhez, és ez nem mindig lehetséges (pl. a kassai Szent Erzsébet-templom 16 m magas szentségháza esetében a 3 m hosszú monopod korlátozottan elég).
- Mivel fotók alapján készül a geometria, a szoftver az objektum méretéről semmit se tud: az eredmény nincs léptékben.

A körbejárható objektumok problémája különösen releváns a gótikus mikroarchitektúra esetében. A gótika fraktál-jellege miatt ezek az alkotások tele vannak kisebb-nagyobb fiatornyokkal, pillérekkel, pálcákkal, „boltozatokkal”. A legjobb eredményhez ezeket is minden oldalról körbe kellene fotózni, hogy egy felület se maradjon rejtve. De még ezzel a korlátozással együtt is több részletet „lát” ez a módszer, mint a hagyományos lézerszkennő, és nagyságrenddel gyorsabb az adatfelvétel, ezenkívül az eredmény színei (mind a pontfelhőnek, mind a felülethálóknak) megfelelőek.

### 2.3. Fotószkennelés iPhone-nal

Az újabb iPhone-ok számos érzékelővel rendelkeznek, melyek jól kiegészítik a fotogrammetriát, és kiküszöbölik az előzőekben bemutatott módszer azon a problémáját, hogy a modell nincs léptékben. A kutatás során egy iPhone 14 Pro Max készüléket használtam. Számos, fotogrammetria elvén működő applikáció elérhető az App Store-ban. Mivel a fotószkennelés esetén a szoftveres oldal is lényeges, ezért érdemes többet is kipróbálni. Vannak ingyenesek, részben ingyenesek, és előfizetések is, illetve az is változó, hogy a 3D generálása a készüléken vagy a felhőben történik-e. Ezen applikációk bemutatása, összehasonlítása nagy számuk miatt túlmutat jelen cikk keretein, annál is inkább, mert egy részük valójában az Apple saját Object Capture szolgáltatásán alapul, és ezek ezért igen hasonlóan működnek. Az Apple az Object Capture-ön alapuló saját, natív alkalmazást is készített, ami Reality Composer néven található meg az iOS App Store-ban, a desktop változata pedig az Apple fejlesztői környezetének, az Xcode-nak része (itt Reality Composer Pro a neve).

Az alkalmazást az Apple alapvetően kisméretű (max. ~ 1 m magas), körbejárható-forgatható tárgyak 3D szkennelésére fejlesztette ki, azzal a céllal, hogy ezeket a fejlesztők vagy játékokban, vagy Augmented Reality (kiterjesztett valóság) segítségével webshopokban használhassák, de tapasztalataim szerint viszonylag jól működik kb. 5–6 méter magas, csak részben körbejárható objektumokkal is.

Az adatfelvétel alapvetően fotogrammetria – tehát lehetőleg minden szögből le kell fényképezni az objektumot –, de a művelet során az iPhone használja a mozgásérzékelő- és a lidarszenzort is. Miután „megmutattuk” neki, hogy mi az objektum, először egy befoglaló téglatestet kell definiálnunk a képernyőn. Utána annyi a dolgunk, hogy három magasságban körbejárjuk a tárgyat, és a szoftver automatikusan elkészíti a fotókat. Ahhoz, hogy a legjobb eredményt érjük el, a szoftver a mozgásérzékelő használatával a segítségünkre van: az adatfelvétel közben nyilak jelennek meg a képernyőn, amik mutatják, hogy mikor merre mozdítsuk a készüléket, és azt is jelzik, hogy mikor teljes egy kör.

A 3D generálása bizonyos fotómennyiség alatt a készüléken magán történik, ezt a fotómennyiséget átlépve pedig desktopon lehet folytatni. A szoftver a nyers fotókat is elmenti, és a generált 3D mérethelyes. A geometria érzékelésében-értelmezésében elég jó, és előnye, hogy 'water-tight' modellt generál, tehát zárt felülethálót. Ugyanakkor egyszerűsítéseket is végez, ami a gótikus mikroarchitektúra esetében hátrány, tehát bizonyos komplexitás fölött nem igazán használható az eredmény (**6. ábra**). Az eredmény pontossága ennél a módszernél továbbá összefügg a tárgytávolságtól is: mivel, ahogy korábban említettem, alapvetően kisebb tárgyak szkennelésére lett kifejlesztve, az a szerencsés, ha az adatfelvétel egésze során 4–5 méternél nincs messzebb az objektum egy része sem a készüléktől.

A módszer hátrányai ugyanazok, mint az előző módszernél, kivéve, hogy itt lépték helyes az eredmény; ugyanakkor limitáció az előző módszerhez képest, hogy ez nem használható bármilyen méretű objektumnál.



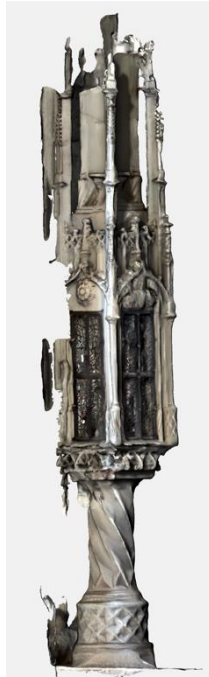


*6. ábra. A gölncibányai szentségház Reality Composerrel készült, mérethelyes 3D-s modellje. Forrás: a szerző munkája.*

## 2.4. Lidar iPhone-nal

Az újabb Pro jelölésű iPhone-okban (12-től felfelé) lidar szenzor is található, ami egy bizonyos távolságon belül érzékeli a tárgyakat, és ahogy mozgatjuk a készüléket, valós időben felülethálót generál a beérkező adatok alapján. Az adatfelvétel úgy történik, hogy a készüléket végigvezetjük az objektum mentén, lehetőleg minden felületet megmutatva neki. Mivel itt is nagyon fontos a szoftveres háttér (a készülék folyamatosan értelmezi a geometriát, és így készíti a felülethálót), az áttört, komplex gótikus mikroarchitekturális alkotások esetében érdemes csökkenteni a lidar hatótávolságát, különben előfordul, hogy a háttér is az objektum részének tekintti, és összemosza vele. Az sem mindegy, hogy milyen sorrendben haladunk: ha nem egyenletes sebességgel, egymás után szkenneljük be az egyes részeket, akkor zavaros lesz az eredmény, tehát nem kevés kísérletezés és tapasztalat is szükséges a használható eredményhez. A fentebb említett 3D-szkennelő alkalmazások nagy része tudja használni a lidart is. A működésük meglehetősen hasonló, és az összehasonlításuk túlmutat jelen cikk keretén. Én a Scaniverse nevűt használtam. Előnye, hogy ingyenes, hogy állítható benne a lidar hatótávolsága, hogy lehet benne szüneteltetni az adatfelvételt (ez olyankor fontos, ha pl. létrára kell mászni szkennelés közben), és nyers adatokat is ment, amiket később újra tud processzálni más beállításokkal.

A módszer látványosan jól használhatónak tűnik, de a valóságban hamar kiütköznek a korlátai, így egyelőre inkább csak kísérleti jelleggel használható (7. ábra).



7. ábra. A gölnicbányai szentségház lidar szenzorral készült, hiányos 3D-s modellje. Forrás: a szerző munkája.

A módszer hátrányai a következők:

- A szenzor korlátozott hatótávolsága: ahhoz, hogy valóban jó eredményt érjünk el, a tárgy minden egyes felületéhez közel kell vinni a készüléket, kb. 50 cm-re.
- Mivel a felületháló generálása gyakorlatilag az adatfelvétellel egy időben történik, nagyon érzékeny arra, hogy hogyan „mutatjuk” meg neki az objektumot.
- Nem eléggé pontos, ez főleg a sok részlettel rendelkező objektumok esetében ütközik ki. Ez a pontatlanság főleg akkor érhető tetten, amikor egy körbejárható objektum esetében körbeérve a felület nem lesz zárt, nem illeszkedik. Mivel a szoftverek "on-the-fly" generálják a geometriát, nem egyértelmű, hogy a pontatlanság a szenzor vagy a feldolgozás hibája-e.
- A komplex geometriák értelmezésében nem elég jó.

### 3. Kitekintés: Gaussian Splatting

Ez a módszer egy forradalmi új technológia (Kerbl et al., 2023), amiben valószínűleg nagy potenciál van, de mérnöki alkalmazása egyelőre korlátozott. Alapvetően a fentebb ismertetett fotószkenneléshez hasonlít annyiban, hogy a bemenetet az objektumról készített fotók adják. Azonban míg a hagyományos fotószkennelésnél a kimenet egy vektoros állomány – vagy 3 dimenziós pontfelhő, ahol minden pontnak meghatározott koordinátái és színe vannak, vagy vektoros, textúrázott felületháló –, addig itt az eredmény raszteres. A fotók alapján a szoftver megpróbál egy 3D-s jelenetet, scene-t létrehozni, ami valóban forgatható a 3D-s térben és körüljárható, de a szó hagyományos értelmében nem vektoros, 3D-

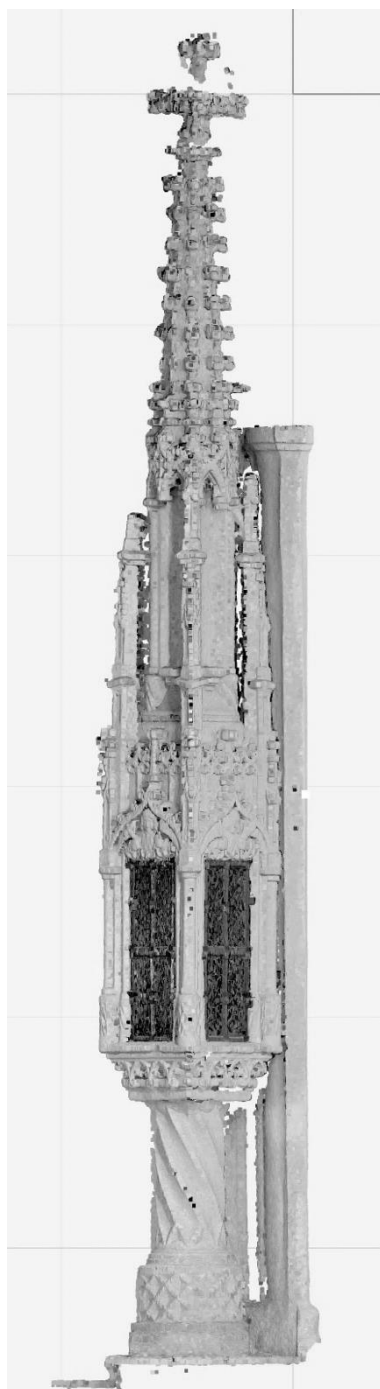
s állomány. A jelenetet milliányi részecskeként ábrázolja, ezeknek a neve 3D Gauss. Minden 3D Gauss rendelkezik pozícióval, orientációval, léptékkel, illetve átlátszósági értékkel és nézetfüggő színnel. Tulajdonképpen a szoftver (mesterséges intelligenciát is használva) azt próbálja a fotók alapján kitalálni, hogy a tér minden egyes pontjáról hogyan nézhet ki az adott jelenet, és amikor úgy látjuk, hogy forgatjuk az objektumot a 3D-s térben, valójában a nézeteket változtatjuk dinamikusan.



*8. ábra. A szepeshelyi oltárkorona fotók alapján készült Gaussian Splat-modellje. Forrás: a szerző munkája.*

#### 4. Összefoglalás

A 3D szkennelési módszerek mind hardver-, mind szoftveroldalon jelentős fejlődésen mentek keresztül az utóbbi években, és ez a fejlődés nem áll meg. A gótikus mikroarchitekturális alkotások 3D szkenneléséhez a hagyományos, mérőállomásos módszer bizonyult a legkevésbé megfelelőnek. A legjobb eredményt egyelőre az egyszerű fotószkennelés hozza (**9. ábra**), azzal együtt is, hogy nem lépték helyes a generált modell, mivel utólag léptékbe lehet hozni. A közeljövőben ez valószínűleg változni fog, és a mozgás- és lidarszenzorokat is használó fotószkennelés átveszi a vezető szerepet. Ezenkívül a lidartechnológia is megérdemli a figyelmet. Léteznek olyan professzionális kézi lidarszkennerek, melyek a fent leírtakhoz hasonlóan működnek, azonban minden bizonnyal jobb szenzorral. Ilyeneket nem volt alkalmam kipróbálni. Ezenkívül érdemes a Gaussian Splattingre is odafigyelni, mert reményeim szerint hamarosan megoldott lesz ezeknek a jeleneteknek is a valódi, vektoros felülethálává történő konvertálása.



**9. ábra.** A gölnicbányai szentségház fotószkenneléssel készült, Metashape-ben generált sűrű pontfelhője. Forrás: a szerző munkája.

## 5. Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Visegrad Fund támogatta. A Stonex X300 szkennert a Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszéke bocsátotta rendelkezésemre. Ezenkívül szeretnék köszönetet mondani a kutatásban nyújtott segítségért és támogatásért Kovács Imrének, Sekan Jánosnak, Tina Markušovánek és kollégáinak a Kassai Kerületi Műemlékvédelmi Hivatalban, Tim Juckes-nak, Vladimír Olejníknek, Bereczki Dánielnek.

## Irodalom

- [1] Bork, R. (2004). Turmhelme und Kleinkunst der Parlerzeit. In R. Strobel, A. Siefert (Eds.), *Parlerbauten - Architektur, Skulptur, Restaurierung: Internationales Parler-Symposium, Schwäbisch Gmünd, 17.- 19. Juli 2001* (pp. 189–196). Theiss.
- [2] Kratzke, C., Albrecht, U. (Eds.) (2008). Mikroarchitektur im Mittelalter: ein Gattungsübergreifendes Phänomen zwischen Realität und Imagination: Beiträge der gleichnamigen Tagung im Germanischen Nationalmuseum Nürnberg vom 26. bis 29. Oktober 2005. Kratzke.
- [3] Somogyi, Á., Fehér, K., Lovas, T., Halmos, B., & Barsi, Á. (2017). Analysis of Gothic architectural details by spatial object reconstruction techniques. *Periodica Polytechnica-Civil Engineering*, 61(3), 640–651. <https://doi.org/10.3311/PPci.10418>
- [4] Lovas, T., Rehány, N., & Somogyi, J. Á. (2018). Történelmi épületek rekonstrukciós munkálatainak támogatása pontfelhők segítségével. *Geodézia és Kartográfia*, 70(1), 19–24. <https://doi.org/10.30921/GK.70.2018.1.3>
- [5] Fehér, K., Halmos, B. (2018). Problems of surveying profile shapes of Gothic architectural fragments. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 13(1), 217–224. <https://doi.org/10.1556/606.2018.13.1.19>
- [6] Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM Transactions on Graphics*, 42(4), 1–14. <https://doi.org/10.1145/3592433>