

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

# Épületek modellezése pontfelhő alapján

## TDK dolgozat

**Konzulensek:**

Dr. Takács Bence Géza  
Hrutka Bence Péter

**Dolgozatkészítő:**

Bátori Boglárka  
ATGBV1

Budapest  
2023

## Kivonat

Az építőipar és az urbanisztikai tervezés területén rohamosan terjed a pontfelhő alapú megközelítés. A rendelkezésre álló technológiai eszközök és szoftverek folyamatos fejlődése lehetővé teszik, a nagy kiterjedésű területek gyors és részletes digitalizációját. A már hagyományosnak számító, manuális vektorizálás nem tudja megfelelő gyorsasággal biztosítani a nagy területet lefedő pontfelhők alapján a mérnöki létesítmények hatékony modellezését.

A dolgozat fő célja, hogy megvizsgálja milyen módszerek terjedtek el, és vannak használatban az automatizált és részlegesen automatizált pontfelhő alapú 3D modellek előállítására. Részletesen tanulmányozzuk a pontfelhő előkészítésének lépéseit, és a pontfelhőből érkező információk vektortérbe helyezésének módjait. Ennek eredményeként foglalkozunk a mesterséges intelligencia és a programozás adta lehetőségekkel a folyamatok automatizálhatóságának érdekében.

A pontfelhők előkészítésén belül áttekintjük a pontfelhők tisztítását, szegmentálását, osztályozását, valamint foglalkozunk a pontfelhőre való síkillesztési eljárások vizsgálatával. Továbbá vizsgáljuk a különböző technológiával készült, különböző méretű és tulajdonságú pontfelhők feldolgozásának alternatíváit és a feldolgozási módszerek általánosíthatóságát. A létrehozható modellek kapcsán ellenőrizzük a pontossági igény és valós megvalósítás kapcsolatát, valamint a pontosság függvényében történő felhasználhatóságot.

A kutatás hozzájárul a pontfelhő alapú 3D modellezés folyamatának fejlesztéséhez, és betekintést nyújt az aktuális állapotra az építőiparban és az urbanisztikai tervezésben.

## **Abstract**

In the construction industry and urban planning, there is an upward trend in the use of point cloud-based approaches. The development of the available instruments, software and technology makes the digitalisation of large areas quicker and more efficient. The traditional and manual vectorization can no longer support modelling engineering facilities based on extensive point clouds.

The primary objective of this thesis is to research the frequently used methods in developing automated and partially automated 3D models based on point clouds. We investigate in depth the steps of preparing point clouds and the methods of transforming the provided data from point clouds into vector space. Consequently, we also explore the opportunities provided by artificial intelligence and programming in automating these processes.

In preparing the point clouds, we overview the cleaning, segmentation, and classification methods of point clouds and plane fitting techniques. Furthermore, we analyse the alternatives to process point clouds of varied sizes and characteristics produced with various technologies and the possibilities to make processing methods general. Concerning the models, we study the relationship between the accuracy requirements versus realization and their applications with respect to available accuracy.

This research contributes to the better development of processes in the creation of 3D models, and it also gives us a better insight into the current state of methods in the construction industry as well as urban planning.

# Tartalom

Bevezetés .....	4
2. Pontfelhők .....	5
2.2. Mintaadatok .....	5
2.2.1. Drónos fotogrammetriai felmérések .....	6
2.2.2. Légi LiDAR felmérés .....	7
2.3. Pontfelhőkből kinyerhető adatok .....	8
3. Pontfelhők feldolgozása .....	9
3.1. Talaj és nem-talajpontok elkülönítése .....	9
3.2. Pontfelhő zajszűrés és újramintavételezés .....	12
3.3. Osztályozás gépi tanulási módszerrel .....	13
3.4. Sorozatos RANSAC síkillesztés .....	14
3.5. Osztályozás skalármező értékekkel .....	16
4. Vektorizált épület kontúrok .....	17
4.1. Osztályozott pontfelhő alapján épületek poligonja .....	17
4.1.1. Befoglaló poligonok illesztése .....	17
4.1.2. Kis méretű poligonok törlése .....	18
4.1.3. Kis méretű poligon lyukak eltávolítása .....	19
4.1.4. A poligonok egyszerűsítése .....	20
4.2. RANSAC tetősíkokból létrehozható épület poligonok .....	20
4.2.1. Síkok összevonása .....	21
5. 3D-S MODELLEK LÉTREHOZÁSA .....	22
5.1. 3dfier .....	22
5.1.1. Épületek poligonjai alapján létrehozható terep poligon .....	23
5.1.2. YAML szöveges fájl létrehozása .....	24
5.2. A háromdimenziós modellek .....	24
6. Eredmények .....	25
6.1. 2D eredmény és elvárások .....	25
6.2. 3D eredmény és elvárások .....	27
6.3. Lehetőségek a fejlesztésre: .....	28
7. Összegzés .....	30
8. Irodalomjegyzék .....	31

## Bevezetés

Napjainkban a valóság digitális modellezése egyre fontosabb szerepet tölt be az élet számos területén. A folyamatos technológiai fejlődésnek köszönhetően az épületek automatikus észlelése és modellezése az utóbbi években sokat fejlődött, de a teljesen automatizált feldolgozására és értékelésére még most sincs tökéletes megoldás. Jelenleg az egyik legmegbízhatóbb gyakorlat a pontfelhő manuális vektorizálása, esetlegesen egy előzetes, részlegesen automatizált szoftveres feldolgozás. Mindez egy nagyobb területen még időigényes ellenőrzési és javítási folyamattal jár. A jelenleg elérhető szoftverek egyrészt nem nyújtanak teljesen általánosítható megoldást a pontfelhők osztályozására és modellezésére, másrészt a szoftverek egy része meglehetősen költséges.

Ebben a kontextusban dolgozatom célja bemutatni, hogy milyen szinten van napjainkban a technológia azon folyamatokban, mely a nyers pontfelhők betöltését követően elkészült 3D modelleket állít elő. Tanulmányozom, hogy milyen akadályok állnak az ilyen típusú feldolgozás előtt, és hogyan lehetne azokat leküzdeni. Megvizsgálom, milyen lehetőségek vannak a különböző forrásból származó, más-más adottságokkal rendelkező pontfelhőkből általánosítható 2D-s és 3D-s modellek létrehozására. Fontos feltérképezni, hogy e folyamatokban az ingyenesen használható szoftverek hogyan kapcsolhatók össze, miként automatizálható a folyamat és melyek a használt szoftverek erősségei és gyengeségei.

A dolgozat következő fejezeteiben három valós, különböző helyszínen és eltérő módszerekkel készült felméréseket alapul véve vizsgálom a módszerek és szoftverek alkalmazásának lehetőségeit, majd ezt követően a feldolgozások által kapott eredmények összegzésével és kiértékelésével foglalkozom.

## 1. Pontfelhők

A pontfelhőt előállító technológiák az utóbbi évtizedekben kulcsfontosságúak lettek, különösen a geodézia, térinformatika és térbeli adatelemzés területén. A városi környezet részletes térképezésében a pontfelhők előállítására leggyakrabban alkalmazott technológia a LiDAR (Light Detection and Ranging) és a fotogrammetria. A LiDAR technológia a pontos távolságok mérésére lézer sugarakat használ, ezzel biztosítva az egyik leghatékonyabb és legprecízebb pontfelhőkészítési módszert. LiDAR szenzorokat gyakran repülőkön használják, de egyre inkább elterjedt a pilóta nélküli légi járműveken (drónokon) való alkalmazása, melyek a települések feletti nagy területű adatgyűjtésre használhatók. A fotogrammetria fényképek alapján, számítógépes képfeldolgozás segítségével állítja elő a pontfelhőket. A fényképezés történhet szintén repülőgépekről, vagy egyre inkább drónokról. Mindkét technológiára jellemző, hogy a pontfelhő pontjai valós szint kapnak, amelyek jól használhatók a pontfelhők osztályozása és elemzése során. (Takács & Lovas, 2023)

A technológia kiválasztása alapvetően a környezeti adottságoktól és a rendelkezésre álló technikai lehetőségektől, valamint a költségvetéstől függ. A dolgozatban a fentebb bemutatott módszerekkel létrehozott pontfelhőket használom a modellezésekhez.

### 1.2. Mintaadatok

A kutatómunka során valós helyszínekkel dolgozom, két romániai (Déva, Szalonta), és egy magyarországi (Göd) mintával. A romániai mintákhoz a Skillzor Group SRL cég PUG (Plan Urbanistic General) várostervezési projektjeiből kaptam hozzáférést. A gödi adatokat az Envirosense Hungary Kft. biztosította oktatási és kutatási célra.

A kutatás során három mintaadatból állítottam elő 2D-s és 3D-s modelleket. A mintákat egy-egy korábbi, nagyobb felmérésből nyertem ki. A megfelelő szemléltetés és a megfelelő gyorsaságú feldolgozás érdekében csak kisebb területekkel foglalkoztam. A minták tartalmukat tekintve dús növényzetű, külvárosi, mérsékelt növényzetű városi, illetve szinte növényzetmentes belvárosi területek.

### 1.2.1. Drónos fotogrammetriai felmérések

A dévai és a szalontai területek DJI Phantom 4 drónnal kerültek felmérésre, de a fotók különböző kamerával és mérési paraméterekkel lettek létrehozva. A teljes felmérésre vonatkozó paramétereket az *1. táblázat* tartalmazza.

		Déva	Szalonta
<b>Mérési paraméterek</b>	Repülési magasság	100 m	60 m
	Repülési mód	Normál	Normál
	Hossz/kereszt irányú átfedés [%]	Hossz: 80 Kereszt: 75	Hossz: 75 Kereszt: 75
	Kameratengely nadir iránnyal bezárt szöge [°]	0	0
	Fotók száma	569	522
<b>Kamera</b>	Kamera típus	<b>Sony ILCE-7RM4A</b>	<b>DJI FC6310S</b>
	Szenzor méret	35 mm	13.2 mm
	Fókusz távolság	23.84 mm	8.86 mm
	Képek felbontása	9504 x 6336	5472 x 3648

*1. táblázat: Drónos felmérések mérési paraméterei*

#### 1.2.1.1. Déva – belvárosi, növényzetmentes

A kivágott mintaterület 41,6 hektár területet fed le, pontfelhője mintegy 103 millió pontból áll. Első sorban tömbházakat, alacsony növényzetet, utakat és járműveket tartalmaz. A feldolgozás szempontjából nagy előnyt jelent, hogy a tetőszerkezetek egyértelműen azonosíthatók, hátránya viszont, hogy ezek mérete széles skálán mozog és bonyolultabb alakzatokból tevődnek össze. Az alacsony növényzet kis mértékben takarja ki az épületeket és a tereppontokat, ezáltal a kinyerhető digitális terepmodell nagyobb pontossággal határozható meg.



*1. ábra: Dévai felmérés*

### 1.2.1.2. Szalonta – közepesen dús növényzet

A kivágott mintaterület 87,9 hektár területet fed le, pontfelhője mintegy 124 millió pontból áll. Elsősorban lakóházakat és kis mértékben szabálytalan tetőszerkezetű létesítményeket tartalmaz, a növényzet mérsékelten van jelen. A feldolgozás szempontjából hátrány ugyan, hogy a növényzet részleteiben kitakarja az épületeket



2. ábra: Szalontai felmérés

és a terepet, de az épületek adottságai hasonlóak, így ezek felismerése hatékonyan tud megvalósulni. A különböző pontfelhő részek vizuálisan jól elkülöníthetők egymástól, amely a későbbi osztályozás szempontjából előnyös.

### 1.2.2. Légi LiDAR felmérés

A gödi felmérés RIEGL VQ-780II lézerszkennerral készült. Az RIEGL VQ-780 II egy fejlett légben használható lézerszkennerről készült, amely magas teljesítményű adatgyűjtéshez lett tervezve. Emellett kiváló légköri zajsűrűséget is kínál, ami tiszta pontfelhőket eredményez minimális zajjal, amelyek csak csekély utófeldolgozást igényelnek. (RIEGL VQ 780II, 2022)

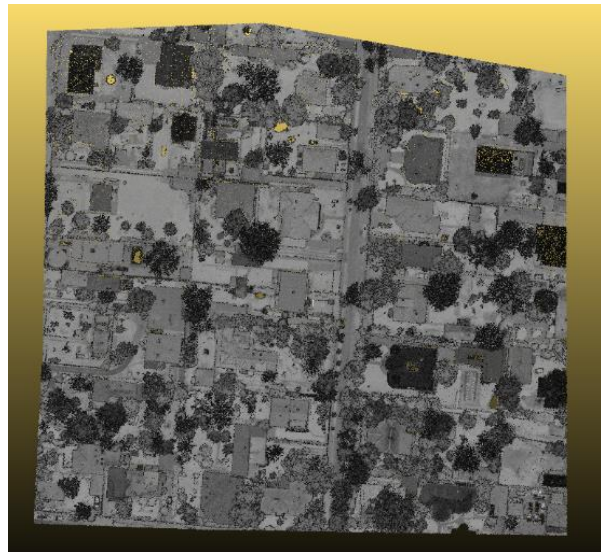
Min. /max. mérési távolság	100/5600 m
Táv mérés pontossága	±20 mm (250 m-en)
Maximális mintavételezési frekvencia	1.33 millió pont/s
Szkennelési mechanizmus	forgó poligon szkennerről
Látószög	60°
Divergencia	0.18 mrad
Lézer osztály	3B
Lézer hullámhossz	1064 nm

2. táblázat: Légi LiDAR felmérés mérési paraméterei



Dolgozatomban Göd város belterületének egy részéről készült pontfelhőjét használtam, amely LIDAR technológiával készült.

A kivágott mintaterület 41,3 hektár területet fed le, pontfelhője mintegy 1,4 millió pontból áll, elsősorban lakóházakat és melléképületeket, kisebb utcákat és dús növényzetet tartalmaz. A tetők alakjukat tekintve egyszerű síkokból tevődnek össze, viszont helyzetük egymáshoz képest szabálytalan. A növényzet nagyobb mértékben takarja az egyes tetőszerkezeti részeket, de a LiDAR-os felmérésnek köszönhetően a tereppontok ettől függetlenül kinyerhetők a növényzet fedte területeken is.



3. ábra: Gödi felmérés

### 1.3. Pontfelhőkből kinyerhető adatok

A pontfelhők általános jellemzője, hogy nagy mennyiségű információt tartalmaznak. A manuális feldolgozás során egyértelműen elkülöníthetők a szükséges térbeli információk, ezek hatékonyan ábrázolhatók, de a nagy kiterjedésű területek pontfelhőinek manuális feldolgozása általában nem egyszerű, hardverigényes folyamat lehet.

A dolgozatomban egyik célja, hogy a pontfelhők előfeldolgozása elősegítse a félautomatizált modellezést. Ennek megfelelően az egyik feladat a pontok osztályokba való sorolása és az osztályok pontos meghatározása. A kétdimenziós modellezés szempontjából nélkülözhetetlen a terepi pontok és az épületi pontok egyértelmű szétválasztása. Fontos, hogy az egyéb, minőséget károsan befolyásoló összetevőket, pl. növényzetet, járműveket a lehető legjobban elkülönítsük. A pontok osztályokba való sorolása a háromdimenziós modellezés során elengedhetetlen, mivel a terepi és az épületi pontok határozzák meg a végleges modellt. A feldolgozás részletességétől függően további osztályokat lehet létrehozni, de a próbálkozások egyszerűsítésének érdekében az épületi pontok és a terepi pontok osztályozásának lehetőségeit vizsgáltam, majd ezt követően a lehető legpontosabb eredmény érdekében a két fő osztály „tisztításával” foglalkoztam.

Az osztályokon felül, a pontfelhők számos geometriai információt is tartalmaznak, így lehetőség van automatizált alakzatok felismerésére és ezekből síkok létrehozására. A megfelelő

korlátozásokat alkalmazva, akár az egyetlen specifikus adottságú síkokat is meg lehet határozni, így kinyerve például az épületek tetősíkjait.

A georeferált pontfelhők koordinátái automatikusan kerülnek felhasználásra, így ezekkel további teendő nincs, a különböző feldolgozások során viszont kiemelten kell figyelni a koordináták megőrzésére.

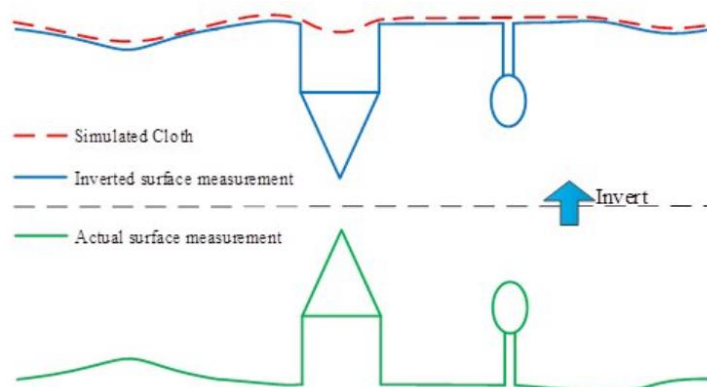
## 2. Pontfelhők feldolgozása

A pontfelhők feldolgozásához, előkészítéséhez minden esetben a CloudCompare (CloudCompare, 2023), nyílt forráskódú ingyenes szoftvert használtam, pontfelhőnként eltérő beépített funkciókkal. Mivel a pontfelhők felépítésüket és tartalmukat tekintve is eltérnek egymástól, így más-más eljárások segítik elő a pontfelhők megfelelő osztályozását és tényleges előkészítését.

A CloudCompare szoftveres feldolgozás célja, hogy olyan végtermékeket kapjunk, amelyek megfelelő alapot nyújtanak a különböző modellek létrehozására, legyen szó 2D-s vagy 3D-s megjelenítésről. A következőkben az alkalmazott funkciók felhasználását, és azok eredményeit mutatom be.

### 2.1. Talaj és nem-talajpontok elkülönítése

Elengedhetetlen lépés a pontfelhők szétválasztása talaj- és nem-talajpontokra ahhoz, hogy a levegőből történő adatokból digitális terepmodelleket (DTM) tudjunk létrehozni. A *CSF (Cloth Simulation Filter)* funkció alkalmazásában a talaj és nem-talajpontok szétválogatása „lepedő



4. ábra: A lepedő szimuláció algoritmus

szimuláció” segítségével történik. Először a pontfelhő magasság szerint kerül invertálásra, majd egy rácsközönként modellezett "lepedő" illeszkedik rá a pontfelhőre. Az osztályozás a deformálódott felület segítségével történik. A talaj pontok osztályát azok a pontok alkotják,

amelyek a deformálódott felülethez képest a megadott küszöbérték határain belül esnek. (Wuming Zhang, és mtsai., 2016)

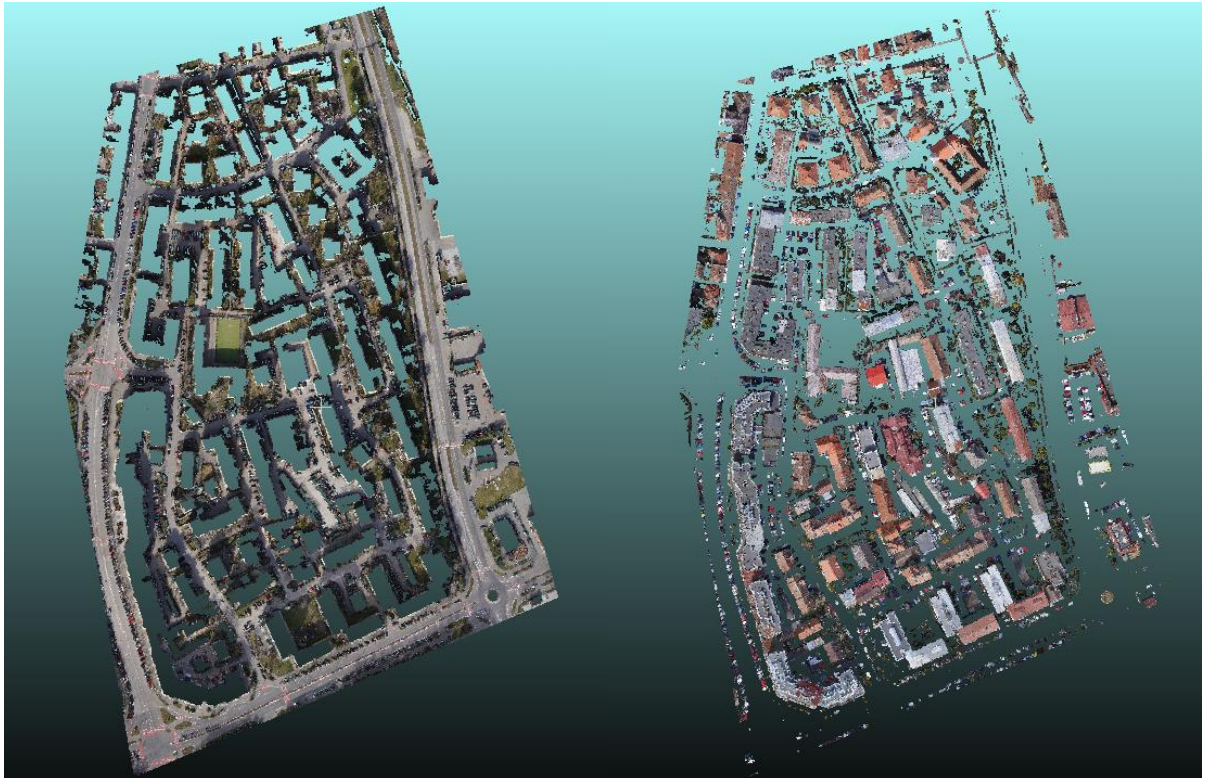
A *CSF* algoritmus használata során fontos a lepedő rugalmasságát befolyásoló paraméter beállítása, ami alapvetően a vizsgált terep domborzati viszonyaitól függ. A *CSF* esetében ez három féle lehet: sík- (flat), dombos- (relief) és hegyvidéki meredek lejtőkkel rendelkező (steep slope) terület. Mindhárom mintaadat esetében a sík opció bizonyult a legjobbnak. Ezen felül három további paramétert van lehetőség meghatározni: rácsfelbontás, amely a rácsponatok közötti vízszintes távolságot reprezentálja; a maximális iterációk száma, amely a terep szimulációjának maximális iterációs számát jelölik; távolság küszöbértéke, amely szabályozza a pontok végső osztályozását a rácsfelbontáshoz képest. Ez a paraméter egy fix értéként van beállítva: 0,5 méter.

A pontfelhőkhöz meghatározott paraméterek kis mértékben térnek el egymástól, egyedül a rácsfelbontást változtattam úgy, hogy az egyes mintaterületekből a legjobb eredményeket kapjam. Így mindhárom pontfelhőt sikeresen két részre szedtem szét; a talaj- és a nem-talajpontokra. Ezek az előállított pontfelhők szolgáltak alapul a későbbiekben használt módszerekhez, illetve a pontfelhők osztályozásakor a két fő osztályhoz. Az eredményeket területenként az 5., 6. és 7. ábra tartalmazza.

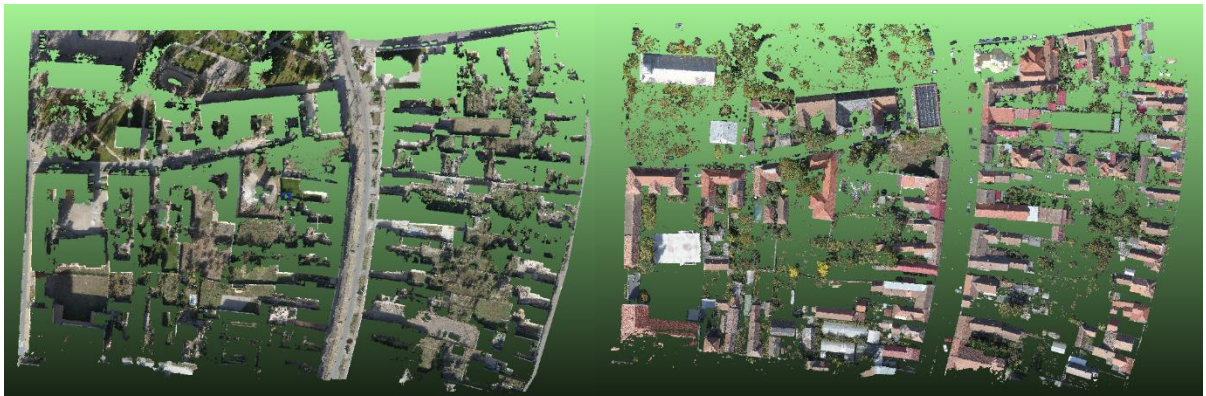
A dévai mintánál (5. ábra) szinte tökéletesen szabályos eredményeket kaptam mind a talaj- és a nem-talajpontokra, viszont megfigyelhető, hogy a járművek egyaránt megjelennek mindkét pontfelhőn. A talajpontoknál a járművek „nyoma” képződött le, a nem-talajpontoknál ezek felső része alkot külön elemeket.

A szalontai mintaadaton végzett feldolgozásnál (6. ábra) jól érzékelhető, hogy ahol dús a növényzet, ott a talajpontok csak részlegesen kerültek kinyerésre. Emiatt károsult az épületek „nyoma”, ami az esetleges modell létrehozásakor alapul szolgálhatna, tehát az így kialakuló épületi körvonalak torzultak, szabálytalanok lesznek.

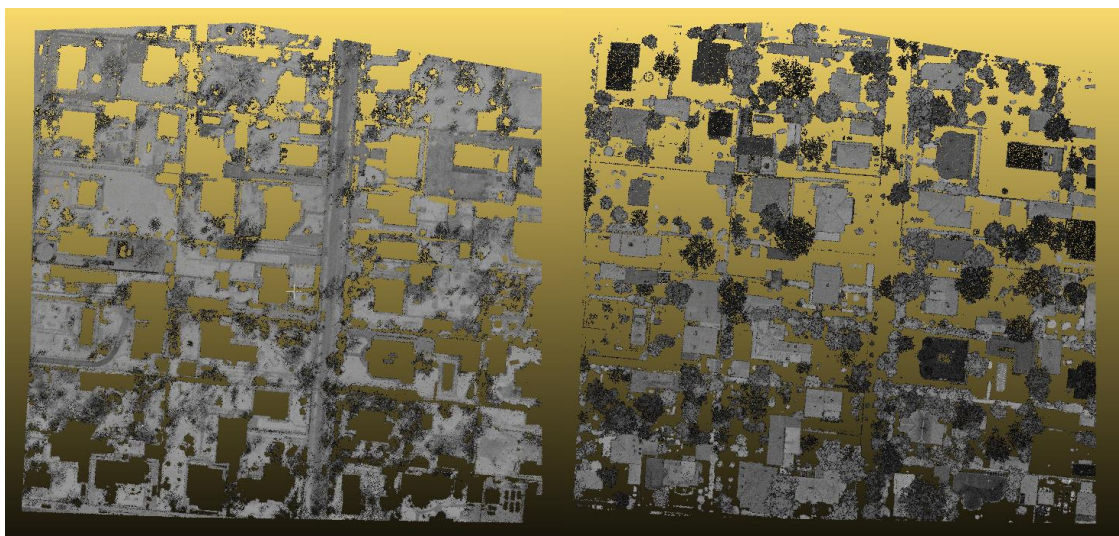
A LiDAR technológia a növényzeten keresztül képes talajpontokat mérni, így reálisabban ábrázolva azt. A gödi mintánál (7. ábra) valóban meglepően jól elkülönültek a talajpontok, ennek ellenére mégsem a gödi mintának lett a legjobb eredménye, mivel ott még így is túl sűrű a növényzet.



7. ábra: Déva talaj- és nem-talajpontjai



6. ábra: Szalonta talaj- és nem-talajpontjai



5. ábra: Göd talaj- és nem-talajpontjai

## 2.2. Pontfelhő zajsűrés és újramintavételezés

A zajsűrés alapvető része a pontfelhő előkészítésének, mivel a további feldolgozások folyamán ezzel nagy mértékben le lehet csökkenteni a létrejött hibás eredményeket. A különböző algoritmusok sok esetben nem tudják a zajokat külön kezelni a számunkra lényeges részekről, így ezeket felhasználva futnak le, ezzel valótlan eredményeket generálva.

A CloudCompare zaj- és SOR (Statistical Outlier Removal) szűrőfunkcióval is rendelkezik, a mintaadataim feldolgozásához mindkettőt alkalmaztam. A zajsűrő egy síkot illeszt az adott pont környezetében található pontokra, majd eltávolítja azokat a pontokat, amelyek túl messze vannak a síktól. A felület illesztésbe bevont pontok kiválasztására két lehetőség van: vagy egy kereső sugarat, vagy a szomszédos pontok számát lehet meghatározni. Feldolgozáskor az utóbbit használtam. A SOR szűrő algoritmus kiszámítja minden pont átlagtávolságát a szomszédjaihoz viszonyítva, ezt követően azokat a pontokat, amelyek az átlagos távolságnál messzebb vannak, kiszűri.

Mivel a dévai és a szalontai felmérések pontfelhői a további komplexebb műveletek elvégzésére a zajsűréseket követően is nagy méretűnek bizonyultak, ezeken szükségesnek találtam újramintavételezést végrehajtani. A CloudCompare Subsample funkciója egy pontfelhő almintát hoz létre. Több lehetőség van a pontfelhők újramintavételezésének eljárására: Random: véletlenszerű újramintavételezés; Space, térbeli távolság alapján újramintavételezés; Octree, gyors újramintavételezés a nyolcas fa indexelés szerint.

A mintaadataimra a térbeli mintavételezést alkalmaztam, amelyben a beállított minimális távolságot alapul véve törli a pontokat úgy, hogy a kimeneti felhőben ne legyen olyan pont, amely közelebb van egy másik ponthoz, mint a meghatározott érték.

A mintaadatok zajsűrését és újramintavételezését pontfelhőnként, a talaj- és nem-talajpontokra külön-külön végeztem el, mivel tartalmukat tekintve eltérők, és így egymástól függetlenül lehet elérni a kívánt eredményt (3. táblázat).

Pontfelhő		Eredeti pontfelhő pontjainak száma	Tisztított pontfelhő pontjainak száma	Véglegesen felhasznált pontfelhő az eredetihez képest
Déva	talaj	45 millió	17 millió	28%
	nem-talaj	58 millió	10 millió	17%
Szalonta	talaj	52 millió	19 millió	36%
	nem-talaj	72 millió	16 millió	22%
Göd	talaj	648 ezer	389 ezer	60%
	nem-talaj	755 ezer	464 ezer	61%

3. táblázat: A pontfelhők zajsűrésének és újramintavételezésének eredménye

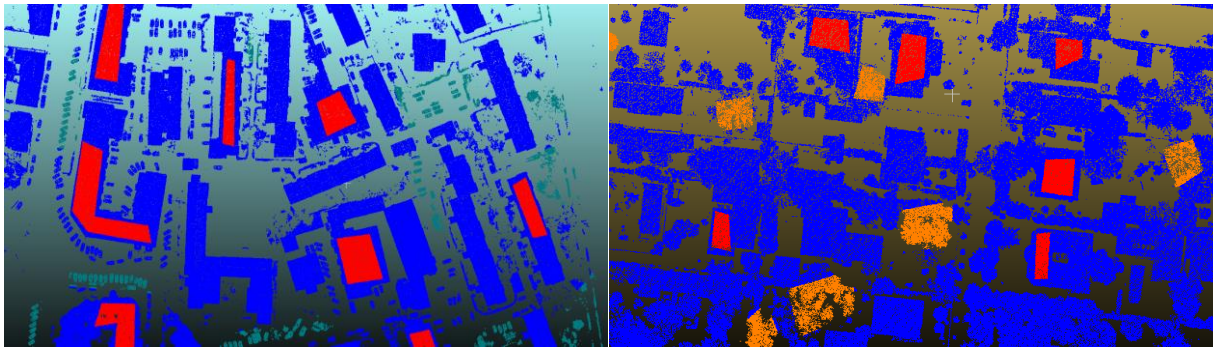
A dévai és a szalontai minta esetében jelentős pontszám csökkenés történt az eredeti pontfelhőhöz képest, de ez indokolt is volt ahhoz, hogy a használt szoftverek és a számítógép megfelelően tudják kezelni a fájlokat. A gödi minta esetében nem történt szándékos pontszámcsökkentés, itt mindössze a zajsűrűség eredményezte ezeket az értékeket.

### 2.3. Osztályozás gépi tanulási módszerrel

A *CANUPO* (Brodu, N & Lague, D, 2012) CloudCompare bővítmény egy egyszerű, de hatékony módja a pontfelhők automatikus osztályozásának. Support Vector Machine (SVM) gépi tanulási módszer segítségével osztályozza a pontfelhőket, amelyhez előzetes betanítást igényel. Így teszi lehetővé azt, hogy olyan osztályozókat hozzunk létre a kis mintákon való tanítással, amire az adott feladathoz szükség van. Ebből következően az egyedi osztályozók alkalmasak a forrás pontfelhő tényleges két részre való bontására. Emellett a *CANUPO* mindegyik ponthoz osztályozási bizalomértéket is kiszámol, így gyorsan azonosíthatók a problémás esetek (általában az osztályok határain).

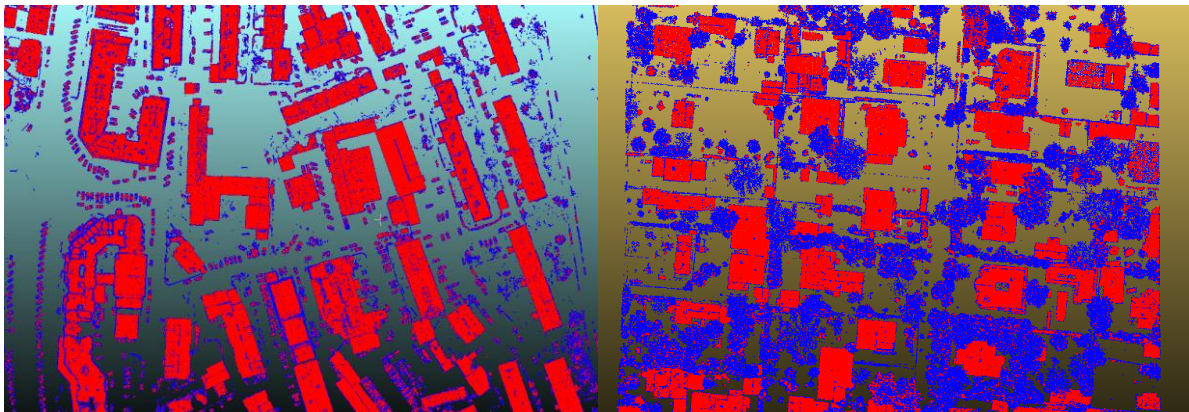
Minden osztályozási próbálkozást a már ritkított pontfelhőkkel kíséreltem meg elvégezni, a nagyobb méretű fájlokat ugyanis a rendelkezésemre álló számítógép (Core i9-12900KF, 3.20 GHz, 32.0 GB RAM) már nem tudta megfelelően kezelni. Mivel a *CANUPO*-val egyszerre csak 2 osztályt lehet meghatározni, kézenfekvő volt, hogy a *CSF* funkcióból származó nem-talajpontokat úgy osztályozom, hogy a szalontai és a gödi minták esetében épületek és növényzet osztályokra bontom, a dévai felmérésnél viszont épületek és „egyéb” osztályokra.

Ez az osztályozás mindhárom pontfelhő szempontjából fontos, mivel kiváltképp a szalontai és a gödi mintáknál a növényzet nagy területen jelen van, így ezek jelenléte csak negatív hatással lettek volna a további feldolgozások eredményére. A dévai mintánál az épületeket szerettem volna szegmentálni, hogy azok nyomai a későbbi folyamatok során ne károsuljanak a környező objektumok miatt. Minden mintára külön-külön *CANUPO* tanító adatokat hoztam létre. A következőkben a dévai és a gödi mintákon mutatom be a bővítmény használatával kapott eredményeket (8. ábra), mivel a szalontai mintaterület csak kis mértékben tér el a másik két területtől. A szalontai minta osztályozásának eredménye, előállítási módjából adódóan hasonlít a dévaihoz, és tartalmából adódóan hasonlít a gödihez.



8. ábra: Déva és Göd, CANUPO tanítás

A *CANUPO* tanítást követően az osztályok elválasztása szubjektív módon történik. Eldönthetjük, hogy a két osztály között hogyan helyezkedjen el a határ, így befolyásolva a pontfelhő osztályozásának eredményét. Az automatikusan megadott határ a mintaterületeim egyikén sem bizonyult megfelelőnek, mivel egyes tetőszerkezetek széleit és gerinceit sok esetben nem megfelelő osztályba sorolta. Az alábbiakban azokat az eseteket mutatom be, melyek eredményeit használatam modellezéskor (9. ábra).



9. ábra: Déva és Göd, CANUPO osztályozás

#### 2.4. Sorozatos RANSAC síkillesztés

A *RANdom Sample Concensus (RANSAC)* lehetővé teszi matematikailag definiálható geometriai alakzatok; síkok, gömbök, hengerek, kúpok és tóruszok robosztus illesztését. A *RANSAC* (Schnabel, Wahl, & Klein, 2007) a vizsgált adathalmazból alakzat illesztéséhez szükséges minimális mennyiségű pont véletlenszerű kiválasztása után elvégzi az illesztést. Kiszámolja a többi adat távolságát az vizsgált alakzattól, majd megszámlálja azoknak az adatoknak a számát, ami egy előre megadott küszöbértéken belül esnek. Az így kapott paramétereket és illeszkedő pontok számát eltárolja. Ezt követően véletlenszerűen újból kiválasztott adatra is elvégzi ezeket a lépéseket. Ha az így kapott modell mintáinak száma több,

mint az előző próbálkozásé, akkor felülírjuk a korábbi modell paramétereit és mintaszámot. Ezen az elven a mintára legjobban illeszkedő matematikai alakzatokat hatékonyan megtalálhatjuk olyankor is, amikor az adatok között számos, a keresett mintára nem illeszkedő adat is van. Ha a mintából kivesszük a már megtalált alakzatokra illeszkedő pontok halmazát, akkor további geometriai formákat is megkereshetünk az adathalmazban.

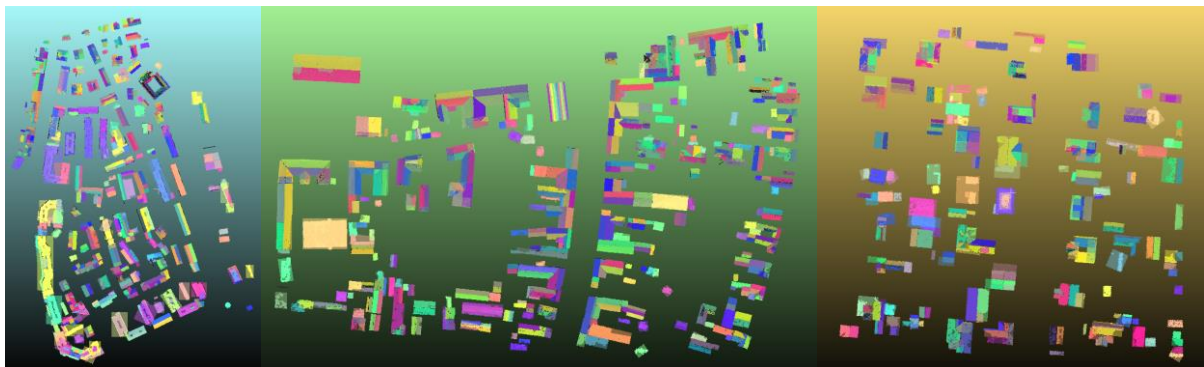
A RANSAC bővítményt úgy alkalmaztam, hogy a CSF szűrőből már korábban kinyert, CANUPO segítségével osztályozott nem-talajpontokat használtam fel, így pontosabb síkillesztést tudtam végrehajtani, kiszűrve ezáltal az esetleges hibás eredményeket.

A legtökéletesebb síkillesztés érdekében minden minta esetében más-más paramétereit (4. táblázat) állítottam be. A legfontosabb paraméter az a mintavételezett pontok száma, ez attól függ, hogy mekkora a felhő sűrűsége, és mekkora alakzatokat szeretnénk észlelni. Ezen kívül ki kell választani azt az alapvető elemet, amit valójában észlelni szeretnénk. Esetünkben a pontfelhőkre kizárólag síklapokat illesztettem, hiszen az épületek jórészt síkokkal modellezhetők, illetve a további lehetőségek bonyolították volna az eredményeket, és így valótlán eredmények születtek volna.

Terület	Minimális pontszám	Maximális távolság a síktól [m]	Mintavételi felbontás [m]	Maximális eltérés a felület normálisától [m]	Kihagyási valószínűség
Déva	500	0,1	1,0	10°	0,01
Szalonta	2000	0,1	0,1	10°	0,01
Göd	100	0,3	2,0	10°	0,01

4. táblázat: RANSAC paraméterek

A paraméterek megválasztására nincs bejáratott módszer. A minimális mintavételezési pontszám hozzávetőlegesen meghatározható ugyan a pontfelhő méretéből, de a többi paramétert tapasztalati úton lehet megválasztani. A bővítmény alapvetően ad egy ajánlást a futtatáshoz, viszont ez a mintaterületek egyikén sem bizonyult megfelelőnek. A több alkalommal futtatott sorozatos RANSAC síkillesztés legjobb eredményei a 10. ábrán láthatóak.



10. ábra: RANSAC síkillesztés mindhárom mintaterületre

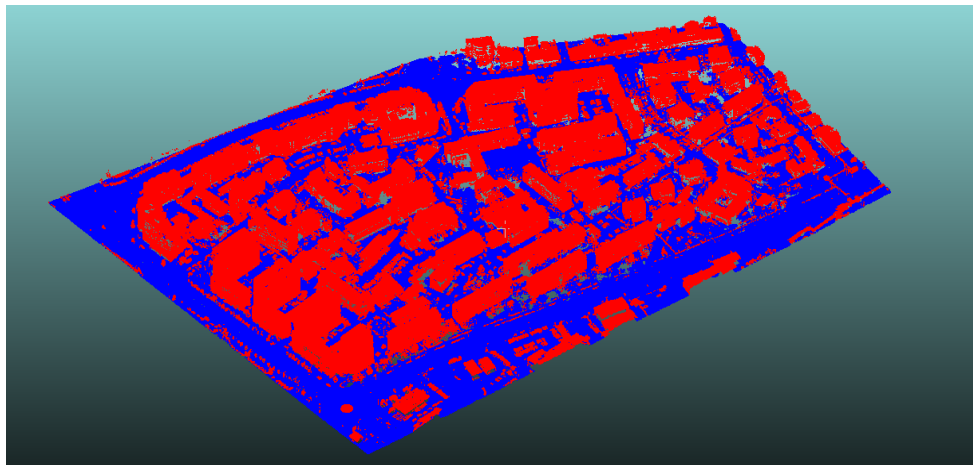


A növényzet kis mértékben befolyásolta ugyan a létrejött síkok méretét, de a szabálytalan alakzatú és különböző méretű tetősíkok nagyobb problémát okoztak, mivel ezekre egy nagyobb méretű síkot illesztett az algoritmus. Beállításoktól függően vagy a kisebb épületek tetősíkjai képződtek le megfelelő részletességgel, vagy a nagyobbak. Jó megoldás lehetett volna az, ahol sok kisebb méretű síkot illesztve szinte minden tető jól leképződik, de abban az esetben a létrejött síkok exportálása és további felhasználása túlságosan időigényessé és esetenként lehetetlenné vált. Ennek a megoldása programozási feladat lenne. Végül mindhárom pontfelhőnél azt a beállítást alkalmaztam amelyik a korábban felsorolt problémákat egyidejűleg tudta a legmegfelelőbbben kiküszöbölni.

A keletkezett síkok a három mintaterületen hasonló pontossággal jöttek létre, a dévai mintán fordult elő nagyobb eltérés a várttól, azokon a helyeken, ahol szabálytalan- vagy túl nagy területű épületek voltak. Azokat a síkokat, amelyek elfogadhatatlanul nagy mértékben eltértek az alapul szolgáló pontfelhőktől, manuálisan távolítottam el (mintaterületenként 1-7 sík).

## 2.5. Osztályozás skalármező értékekkel

A korábban használt *CSF* szűrő különálló pontfelhőt hozott létre, a talaj, és nem-talajpontokat. A CANUPO segítségével osztályozásra kerültek ugyan a nem-talaj pontfelhők, de nem szolgálnak önmagukban megfelelő mennyiségű információval a későbbi modellek létrehozásához. Mindenképp szükséges a talajpontokat is osztályozni. Az *Add Classification SF* beépített modul segítségével bármilyen osztályozatlan pontfelhőnek meg lehet adni az osztályát. Az osztályok számát az ASPRS Szabványos Pont Osztályoknak (LAS Specification 1.4 - R14, 2019) megfelelően határoztam meg egységesen minden mintaadat esetében.



11. ábra: *SF Classification* alkalmazása a dévai mintán

Az *SF Classification* funkció alkalmazásával mindhárom pontfelhőnek egyforma eredménye lett, a korábban létrehozott és bemutatott alapanyagokból, így a *11. ábrán* csak a dévai minta eredménye látható.

### 3. Vektorizált épület kontúrok

Az egyik fő cél a félautomatikus 2D-s vektorállományok létrehozása volt, amely tartalmazza az épületek körvonalát. Ehhez az előkészített pontfelhőket és további kinyert adatokat használtam fel. A félautomata vektorizálásban két módszerrel tudtam eredményt elérni. Az egyik a *CSF* szűrő segítségével szétválasztott- és a *CANUPO* szűrő segítségével osztályozott pontfelhők alapján, a másik a *RANSAC* által kinyert síkok alapján. A feldolgozáshoz minden esetben a QGIS nyílt forráskódú térinformatikai szoftver 3.32 változatát használtam. (QGIS Contributors, 2022)

#### 3.1. Osztályozott pontfelhő alapján épületek poligonja

Megvizsgáltam, hogy az épületek körvonalának ábrázolását hogyan tudnám úgy kivitelezni, hogy csak az osztályozott pontfelhőket veszem alapul. Mind a talaj- és nem-talajpontok esetében is elmondható, hogy létezik kellő mennyiségű információ az épületekről, mivel egyértelműen vizuálisan elkülöníthetők az épületek körvonalai.

##### 3.1.1. Befoglaló poligonok illesztése

A beépített *Határ (Boundary)* funkció a pontfelhő adatok alapján hoz létre egy felület fájlt, amely a pontfelhő réteg határait tartalmazza. A megfelelő beállításokkal ez a funkció a pontfelhőt kisebb részekre bontva képez különálló poligonokat, vagy egy nagy közel egybefüggő poligont, ez a felhasznált pontfelhőtől függ.

Két lehetőséget vizsgáltam. Az egyik a korábban *CSF* szűrő segítségével létrehozott talajpontok alapján alkotható felület, mely az épületek körvonalát tartalmazza, de a poligon nem az épületeket, hanem az azokat körülvevő terepet ábrázolja. A második próbálkozás a *CSF* szűrővel létrehozott, *CANUPO* segítségével osztályozott épületi pontok alapján készült.

Mivel a mintaadatok már eleve eltérő pontsűrűségűek voltak, majd a különválasztott talaj és nem-talaj pontok további zajsűrűségeken és újra-mintavételezéseken estek túl, az egyes

poligon előállítására más-más paramétereket alkalmaztam. Az eredmények a különböző paraméterek beállításakor, a létrejött poligonok részletességét határozták meg. Ezen eredmények közül azokat az eseteket választottam ki, ahol az épületek körvonalai a lehető legegyszerűbben képződtek le (12. ábra), tehát az egyes fal részek közel egyenesekből álló körvonalakat alkottak. Ez volt az elsődleges cél a paraméterek beállításakor, viszont emellett figyelembe kell venni azt, hogy amennyiben túl részletes poligonokat hozunk létre minden nem kívánt pontcsoporthoz (nem-talaj pontok esetében) és pont hiány (talajpontok esetében), ugyanolyan részletességgel képződik le. Amennyiben kisebb részletességű poligonokat állítunk elő annak érdekében, hogy a nem kívánt pontokból az algoritmus ne hozzon létre további poligonokat, a releváns részek szabálytalan formákként jelennek meg, amelyek csak kis mértékben hasonlítanak az eredeti alakzatokra.



12. ábra: Mintaterületeken létrehozott poligonok

A 12. ábrán azok a poligonok láthatók, amelyek mintaterületenként a legjobb eredményeket érték el. A különböző pontfelhők melyekre a *Határ* funkciót alkalmaztam, mind más-más eredményt adott, annak ellenére, hogy azonos elv alapján választottam ki a paramétereket. Egyértelműen elmondható, hogy abból a pontfelhőből készül a legjobb ábrázolás, amelyik nagyobb sűrűségű pontokból áll, és kis mértékben tartalmaz zajt. Ezzel az a probléma, hogy az ilyen típusú pontfelhő az általános felmérések során a legritkábban fordul elő, és a legnehezebben állítható elő.

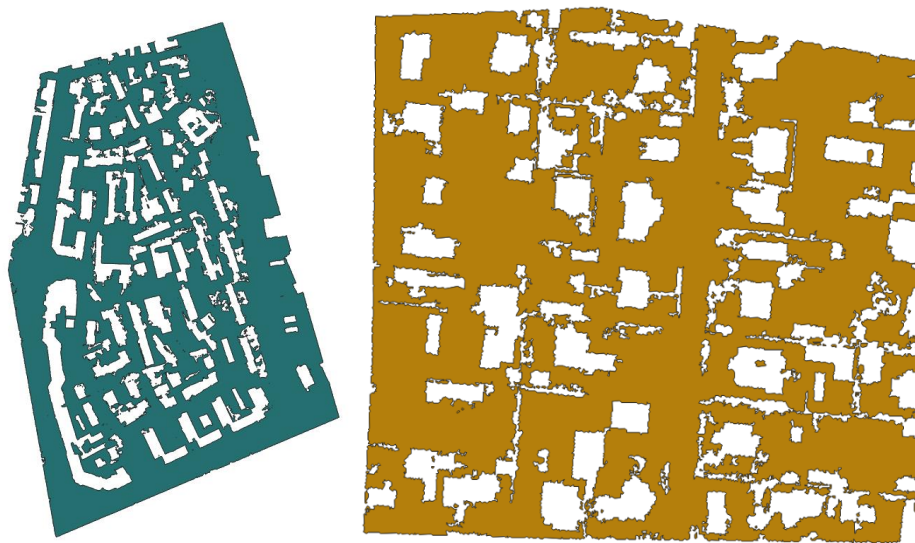
### 3.1.2. Kis méretű poligonok törlése

A létrejött poligonokat további funkciók segítségével lehet korrigálni. A nem-talajpontokból létrehozott poligonok vonatkozásában, nem épületi, kisebb kiterjedésű

poligonok szétválasztása után, miután mindegyik poligon külön elemként szerepel az attribútum táblában, és hozzárendeljük a területi információkat, egyszerű szűréssel el lehet távolítani azokat területük alapján. Meg van a veszélye annak, hogy növényzeti kitakarások vagy egyéb zavaró tényezők miatt épületi részek is eltűnnek, de összességében egy letisztultabb, átlátható eredményt kapunk az épületekről.

### 3.1.3. Kis méretű poligon lyukak eltávolítása

Főképpen a talajpontokból létrehozott poligonoknál, de kis mértékben a nem-talajpontokból létrehozottaknál is megfigyelhető, hogy egyes részekben a pontfelhő ritkaságából adódóan lyukak keletkeztek, melyek kedvezőtlenül hatnak a keletkezett végtermékekre. Azon előállított poligonokat, melyekben kevés, de a végterméket befolyásolva lyukak jöttek létre a *Határ* alkalmazásakor, a *Lyukak törlése (Delete holes)* funkció segítségével lehet megtisztítani. A *Lyukak törlése* eljárás úgy alkalmazható, hogy paraméterként megadjuk azt a legnagyobb területet, amely méretig minden lyuk eltávolításra kerül. A talajpontok kapcsán, értelemszerűen azokon a területeken, ahol a növényzet nagyban befolyásolta a pontfelhő minőségét, rosszabb eredményeket érünk el, ha túl nagy területet adunk meg paraméterként törlésre, mert így akár épületek is eltűnhetnek. Ezt a funkciót akkor érdemes használni, ha a lyukak csak kis mértékben vannak jelen, vagy legalább is kisebbek, mint a legkisebb szemléltetni kívánt épület. A dévai és gödi példa (*13.ábra*) jól szemlélteti a lyukaktól megtisztított sokszögeket.

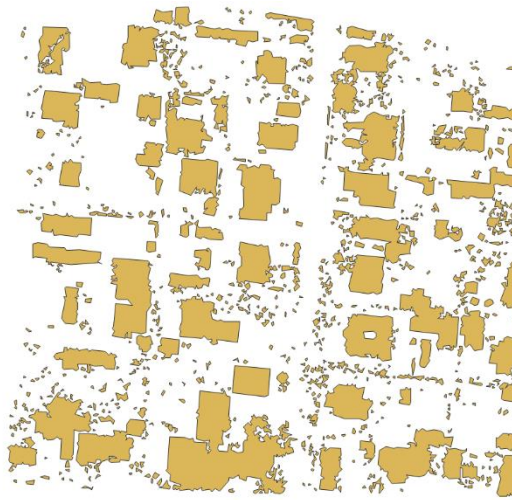


13. ábra: Lyukak törlése funkció alkalmazása

A baloldali, dévai mintán jól látható, hogy mivel nagy sűrűségű pontfelhő volt a bemeneti adat, az épületek körvonala szinte tökéletesen leképződött, és a korábbi jármű nyomok teljesen eltűntek. Ezzel szemben a jobboldali gödi mintán az épületi körvonalak „recések” maradtak a kisebb pontszámú pontfelhő miatt, és hiába tűnt el a lyukak nagy része, a sűrű növényzet, kerítések, és egyéb kitakaró entitások miatt, továbbra is maradtak nagyobb méretű lyukak, melyek eltávolítása épületek eltüntetésével járna.

#### 3.1.4. A poligonok egyszerűsítése

A korábban bemutatott poligonok különböző részletességgel és pontossággal keletkeztek. A nagyobb sűrűségű pontfelhők (Déva, Szalonta) egyeshez közelítő-, míg a kisebb (gödi) durvább épületi körvonalakat generáltak. Az *Egyszerűsítés (Simplify)* algoritmus olyan csúcsokat távolít el a geometriából, amelyek kis területeket hoznak létre, például keskeny hegyeket, vagy egyeshez közelítő szegmenseket. Ez a funkció a dévai és szalontai minta estében megfelelő eredményt nyújtott. A gödi poligonok is nagy mértékben javultak, így a létrejött eredményt már lehet kisebb pontosságú ábrázoláshoz használni.



14. ábra: Egyszerűsítés alkalmazása, Göd

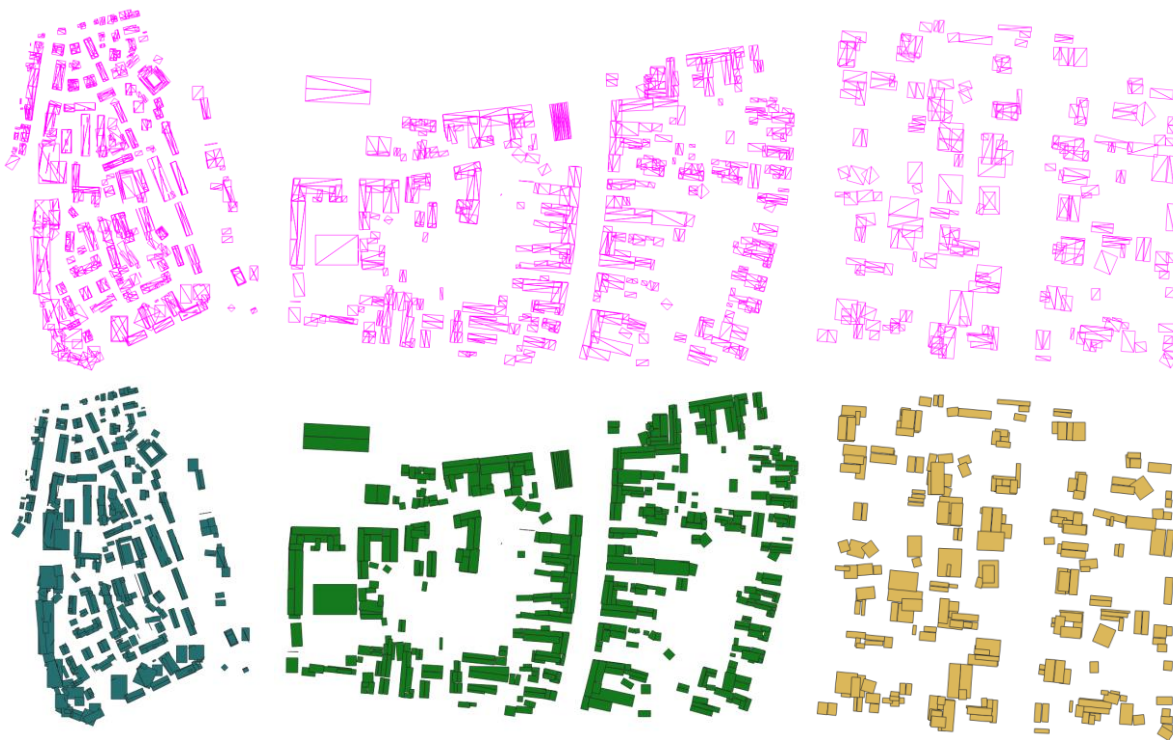
### 3.2. RANSAC tetősíkokból létrehozható épület poligonok

A RANSAC módszerrel kinyert tetősíkok szabályos alakzatú, zajmentes eredményeket mutatnak. A 2.4. bekezdésben részletezett hiányosságok és problémák továbbra is jelen vannak, és ezeket viszik tovább a létrehozható körvonalak, mégis egyenletesebb eredményt nyújtanak.

Az osztályozott pontfelhők alapján létrehozott poligonokkal szemben ez a módszer általánosíthatóbb munkafolyamat, mindhárom mintaterület hasonló produktummal bír. Előnyt jelent továbbá, hogy az így létrehozott poligonok különálló entitásokként képződnek le, így ezek a háromdimenziós modellezés során további beavatkozás nélkül, hatékonyan használhatók.

### 3.2.1. Síkok összevonása

A QGIS szoftterben elérhető az *Összevonás (Dissolve)* eszköz, amely lehetővé teszi a vektorrétegeken lévő vektorok egyesítését. Az eszköz lehetőséget biztosít az eredményréteg kiválasztására és az összevonás paramétereinek beállítására. Vektorok attribútumok alapján történő összevonásakor fontos kiválasztani a megfelelő attribútumot és összevonási módot annak érdekében, hogy az eredményezett vektor pontosan tükrözze az épületeket. A CloudCompare-ből exportált *RANSAC* állományok tartalmazzák a felismert primitív alpontjainak a részhalmazát és a neki megfelelő síkokat. A QGIS-be való importálás során érdemes csak a síkokat betölteni, ez meggyorsítja a folyamatokat. A *RANSAC* négyszögű síkjai, síkként 2-2 háromszögből tevődnek össze, amelyeket a CloudCompare-ben generált síkokhoz tartozó *MESH* attribútum alapján lehet összevonni. A leírtaknak megfelelően alkalmazott *Összevonás* funkció eredményeit a (15. ábra) tartalmazza.



15. ábra: Összevonás alkalmazása a RANSAC tetősíkokon

Egységesen minden mintaterület minden poligonja megfelelően leképződött, de ezek nem tökéletesen az épületek körvonalát ábrázolják, hanem az egyes tetősíkokat. Lenne lehetőség további összeolvasztásra, de az a háromdimenziós ábrázolás magassági eredményeit befolyásolnák. Az épületek szempontjából így is ugyanolyan körvonalak születtek, az egyes poligon csoportokra nézve, mintha ezeket összevonnánk.

## **4. 3D-S MODELLEK LÉTREHOZÁSA**

A második fő cél a pontfelhő alapú háromdimenziós modellek létrehozása volt. Mivel már több módszerrel is sikerült előállítani az épületek körvonalát, ez már biztosan felhasználható a háromdimenziós modellek előállítására. Az épületek magassága a pontfelhőkből adott, így ez lesz a második bemeneti adat. Minden, az előző fejezetekben megvalósult produktum fontos része az épületek térbeli modellezésének.

### **4.1. 3dfier**

A 3dfier célja egyszerűen 3D modellek létrehozása. Kétdimenziós GIS adatkészleteket vesz alapul (például topográfiai adatkészleteket) és háromdimenzióssá alakítja őket. A magassági adatokat egy pontfelhőből szerzi be és a felszínborítottságot leíró poligonokat is felhasználja a kiemelés során. A kiemelés után a sokszögek között kialakult magassági réseket "összevarrja", így létrejön egy összefüggő digitális felületmodell (DSM), amely megadott poligonok függvényében tartalmazhatja a terepet, vízfelületeket, LOD1-es épületmodelleket és akár útfelületeket is. A szoftvert a Delfti Műszaki Egyetem 3D Geoinformációs csoportja fejleszti. (Ledoux, és mtsai.)

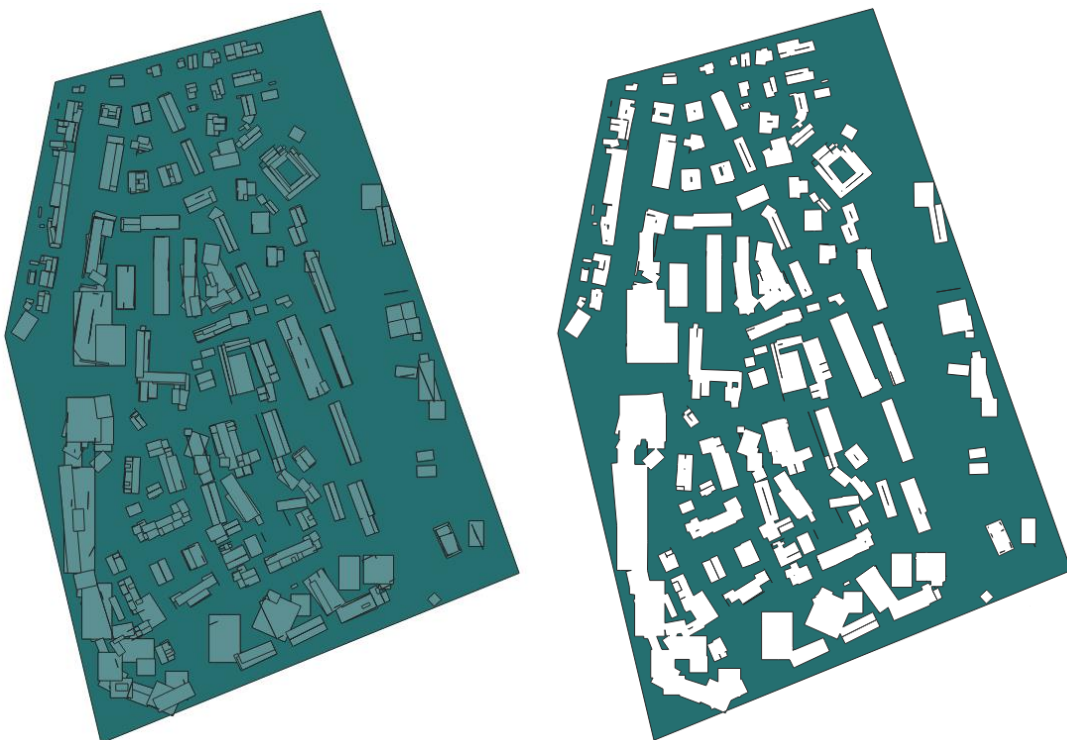
A 3Dfier szoftver segítségével van lehetőség kizárólag épületekből és terepből álló modellt is létrehozni. Mindössze 4 előkészített fájlra van hozzá szükség:

1. Osztályozott pontfelhő
2. Épületek poligonjai
3. Terep poligonja
4. YAML szöveges fájl

#### 4.1.1. Épületek poligonjai alapján létrehozható terep poligon

Ha nincs egy 2D poligon, amely leírja a terep terjedelmét, akkor a 3dfier nem képes terepet létrehozni a pontfelhőből. A megoldás az, hogy létrehozunk egy poligont a munkaterületről, és elmentjük shapefile-ként. Nagyon fontos, hogy ha a terepet és az épületeket összeillesztjük, az épületek ne metszék egymást a tereppel. Ezt a terep sokszög és az épületek közötti szimmetrikus különbség használatával érjük el. (Ledoux, és mtsai.)

A meglévő épület poligonok megfelelően leírják a munkaterületet, így ezek köré egyszerűen rajzolható egy poligon, mely a terep körvonalát fogja képezni. A QGIS *Szimmetrikus differencia* algoritmusával létrehoz egy réteget, amely tartalmazza bemeneti és fedő réteg elemeit, de eltávolítja a két réteg közötti átfedő területeket. A szimmetrikus különbség réteg attribútumtáblája tartalmazza az attribútumokat és mezőket mind a bemeneti, mind a fedő rétegből. Ennek megfelelően mindhárom mintaterületre elvégeztem a műveletet, a dévai minta segítségével ábrázolom.



16. ábra: Szimmetrikus differencia funkció alkalmazása a terep poligonjának kinyerésére

A bal oldali képen látható a manuálisan megrajzolt terephatárból generált poligon és épület poligonok, a jobb oldalon pedig a funkció segítségével kivágott, bemeneti adatként szolgáló terep poligonja. Ez a módszer egységesen minden pontfelhő esetében tökéletesen működött.



#### 4.1.2. YAML szöveges fájl létrehozása

A 3dfier bemeneti adataihoz tartozó YAML szöveges fájl elengedhetetlen a szoftver működtetéséhez. A 3dfier szoftvernek nincs grafikai felülete, a parancssorból kell futtatni. A pontfelhőket és a poligonokat tartalmazó fájlok elérését a YAML fájl tartalmazza. Ebben a fájlban az alapanyagok beolvasásán túl, különböző paramétereket is meg lehet határozni a feldolgozáshoz. A kívánt eredmény és a rendelkezésre álló anyagok függvényében a teljes szöveg formálható, a 3dfier dokumentációjában leírtaknak megfelelően. (3D geoinformation group, 2023)

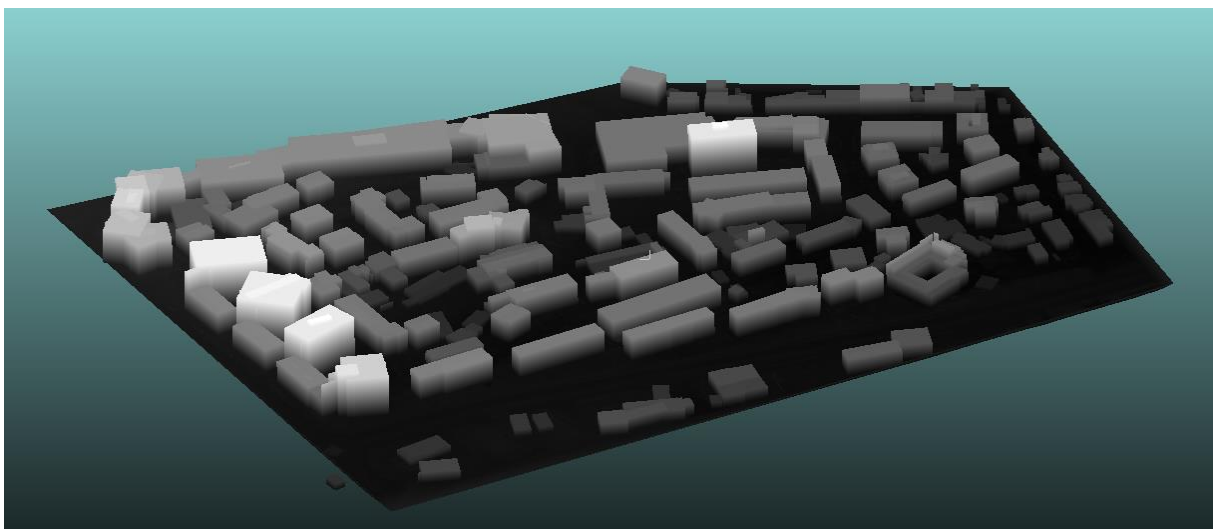
```
1 input_polygons:
2   - datasets:
3     - ./sql/terrain.sqlite
4     uniqueid: layer
5     lifting: Terrain
6     height_field: 0
7   - datasets:
8     - ./sql/epuletek.sqlite
9     uniqueid: layer
10    lifting: Building
11    height_field: 0
12
13 lifting_options:
14   Building:
15     lod: 1
16     floor: true
17     inner_walls: false
18     triangulate: true
19     ground:
20       height: percentile-10
21       use_LAS_classes:
22         - 2
23     roof:
24       height: percentile-90
25       use_LAS_classes:
26         - 6
27   Terrain:
28     simplification: 0
29     simplification_tinsimp: 0.1
30     use_LAS_classes:
31       - 2
32
33
34 input_elevation:
35   - datasets:
36     - ./las/deva.las
37   omit_LAS_classes:
38     - 0 # Never classified
39     - 1 # Unclassified
40   thinning: 0
41
```

17. ábra: Déva modelljének létrehozásához használt YAML fájl

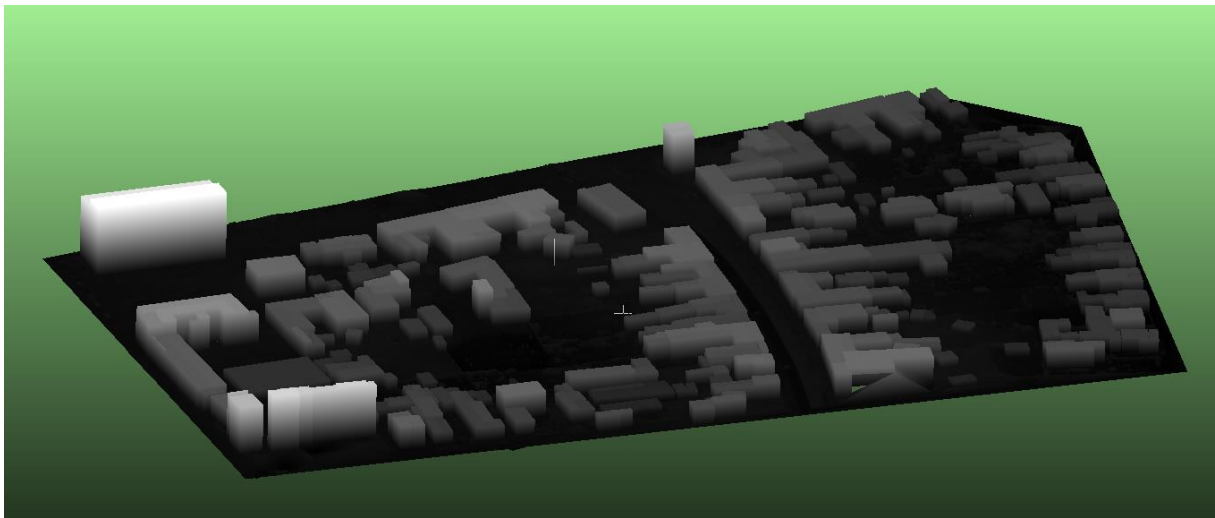
#### 4.2. A háromdimenziós modellek

A 3dfier pontos leírásainak köszönhetően, a korábban felsorolt bemeneti anyagok segítségével mindhárom mintaterületre sikerült LOD1-es modellt létrehoznom.

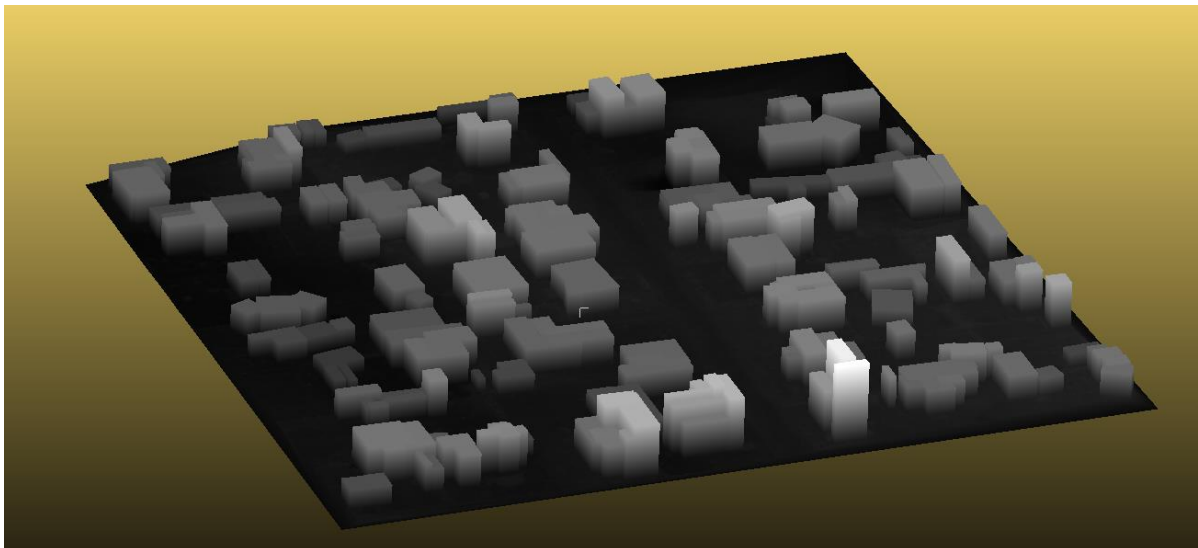
Elmondható, hogy minden épületi poligonból, amely korábban meghatározásra került, a 3dfier a pontfelhő magasságoknak megfelelően létrehozta a háromdimenziós épületeket. Megfigyelhető továbbá, hogy mivel ezek a poligonok nem a tényleges épületek körvonalai voltak, hanem a tetősíkok poligonjai, az összetettebb tetők esetében több, különböző magasságú elem jött létre. A létrehozott modelleket a 18., 19. és 20. ábra tartalmazza.



18. ábra: Déva 3D-s modellje



19. ábra. Szalonta 3D-s modellje



20. ábra: Göd 3D-s modellje

## 5. Eredmények

### 5.1. 2D eredmény és elvárások

A céлом az volt, hogy olyan módszert találjak az épületek vektorizálására, amely teljesen ki tudja váltani a manuális szerkesztést. A folyamatok során egyértelműen kiderült, hogy a létrejött modellek a nagyobb pontossági igényeket még nem tudják teljesíteni, de már képesek egyszerűsíteni a manuális vektorizálást. A dévai és a szalontai mintaadatokhoz manuálisan

vektorizált rajzot is kaptam. Ezek és a dolgozat során létrehozott RANSAC alapú épület körvonalainak összehasonlítását a 21. és a 22. ábra tartalmazza.



21. ábra: Déva épületeinek manuális és félautomatizált eredményeinek összehasonlítása



22. ábra: Szalonta épületeinek manuális és félautomatizált eredményeinek összehasonlítása

Az összehasonlításokból jól látszik, hogy a szalontai minta összességében jobban illeszkedik a manuálisan vektorizált épületek körvonalaihoz, viszont a dévainál kivétel nélkül minden épület

reprezentálva van. Míg a szalontainál hiányoznak egyes épületrészek, a dévainál túllógások figyelhetők meg. Mindez a *RANSAC* síkillesztés hibáiból adódik. Az épületeken túl a síkillesztésből adódóan megjelenítésre kerültek további nem állandó épületek is, pl. sátrak és fóliaházak.

Amennyiben nagy területű gyors ábrázolásra van szükség kisebb pontossági igényvel, ez az ábrázolási módszer gyorsabban megvalósítható, mint a manuális vektorizálás. A *RANSAC* síkillesztésből létrejött rajzokat előnyösebbnek gondolom a teljes mértékben pontfelhő alapú ábrázolással szemben, mivel ebben az esetben mindhárom mintaadatra hasonló eredmény született, így ez egy általánosítható módszernek mondható.

## 5.2. 3D eredmény és elvárások

A háromdimenziós modellezés, a félautomatikusan előállított bemeneti adatokat felhasználva, nemvárt eredményeket adott. A LOD1-es modellek az épületek területét nézve olyan pontossággal jöttek létre, mint a létrehozott épületi körvonalak, hiszen ugyanazon hibákat hordozzák magukban, ami a *RANSAC* síkillesztésből gyökerezik. A magassági értékeket nézve, a modellek a pontfelhő magasságához tökéletesen illeszkednek. Az eredeti pontfelhők és a létrehozott modellek összehasonlítását a 23. és 24. ábra tartalmazza.



23. ábra: Déva 3D-s ábrázolása az eredeti pontfelhőhöz képest



24. ábra: Szalonta 3D-s ábrázolása az eredeti pontfelhőhöz képest

Összességében elmondható, hogy kisebb pontossági igény keretein belül, az így létrehozott háromdimenziós modellek minden esetben megvalósultak, ezzel egy általánosítható munkafolyamatot biztosítva.

### 5.3. Lehetőségek a fejlesztésre:

Az összes eredményre igaz, hogy pontosság szempontjából feltétlenül szükséges fejleszteni ezeket a folyamatokat. Ez a probléma az épületek körvonalának létrehozásához vezethető vissza. Ha ezt a munkarészt sikerülne nagyobb pontossággal megvalósítani, háromdimenziós modellek is nagyobb pontossággal jönnének létre.

Fejlesztési lehetőség, a sorozatos *RANSAC* síkillesztés pontosabb alkalmazása. Például amennyiben nagyobb területen több méretű és típusú épület található, a terület kisebb részekre való bontása megoldást jelenthet. Az így kapott már azonos adottságokkal rendelkező területrészekre a síkillesztés saját paraméterekkel, nagyobb pontossággal jöhetne létre, ezzel mind a kétdimenziós, mind a háromdimenziós modell precízebben kerülne kivitelezésre. Ezen felül maga a funkció gyorsabb és könnyebben kezelhető kimeneti fájlokat eredményezne.

Mivel mindhárom mintaadat sík terepről származik, további vizsgálatot igényel az egyéb domborzatú területek feldolgozása.

További fejlesztésre szorul a teljes folyamat időtartamának csökkentése. Valóban kevesebb idő alatt lehet így a modelleket létrehozni, mint manuálisan vektorizálni, de a különböző funkciók paramétereinek megfelelő megválasztása még így is sok időt vesz igénybe.

Ez a probléma talán több tapasztalattal enyhíthető, de ez sajnos nem jelent általános megoldást. Ahhoz, hogy kevesebb emberi beavatkozást igénylő folyamatokat tudjunk létrehozni, további programozási megoldásokat kell alkalmazni. Ha a paraméterezési problémára sikerülne megoldást találni, az adott funkciókat akár automatikusan is lehetne futtatni.

A háromdimenziós modellek létrehozása szempontjából egyértelműen van fejlesztési lehetőség. A létrejött LOD1-es modellek képesek arra, hogy reálisan ábrázolják az épületek területét és magasságát, de a teljes alakjukat tekintve még fejlesztésre szorulnak. A tetőszerkezetek és az épületi elemek együttes és pontos ábrázolása nagy előrelépés lenne az épületek háromdimenziós modellezésében, de erre minden bizonnyal még várni kell.

## 6. Összegzés

A dolgozatomban a pontfelhőkből előállítható modellek félautomatikus létrehozásával foglalkoztam. A munkát szakirodalmi kutatással kezdtem, ezáltal számos információt gyűjtöttem a különböző munkafolyamatokról, amelyek elősegítették a modellezést.

Három különböző előállítású és tulajdonságú, georeferált pontfelhőt alapul véve vizsgáltam ezek feldolgozásának lehetőségeit, a legáltalánosíthatóbb módszert keresve. A CloudCompare szoftvert használva a pontfelhők feldolgozása során sikerült megtalálni azt a folyamatot, amely mindegyik mintaadatra megfelelő megoldást nyújtott, és alkalmas alapot ad a tényleges modellezéshez.

A pontfelhő feldolgozás eredményeképpen sikeresen előállításra került az épületek körvonala két módszerrel. Az osztályozott pontfelhőket alapul véve, a talaj és a nem-talajpontok pontfelhőire külön-külön illesztett befogó poligonok egyaránt leképezték az épületek körvonalát, de mindkét esetben további feldolgozásra szorult az eredmény. A különböző tulajdonságú pontfelhőkre nem általánosítható ez a megoldás. A sorozatos *RANSAC* síkillesztésből született síkok megfelelő alapot biztosítottak az épületi körvonalak létrehozására. Ezzel a módszerrel sikerült azt a folyamatot megtalálni, amely mindhárom mintapéldára egyaránt működött, így egy általánosítható módszert biztosítva.

Az előző fejezetekben részletezett, alkalmazott folyamatok fő eredménye, egy 5 lépésből álló módszer, amelyik segítségével bármilyen pontfelhőt alapul véve létrehozható egy háromdimenziós, LOD1 modell.

### **Épületek háromdimenziós modellje 5 lépésben:**

1. **Pontfelhők előkészítése:** Talaj és nem-talajpontok elkülönítése és Osztályozás skalármező értékekkel
2. **Tetősíkok kinyerése a pontfelhőkből:** Sorozatos *RANSAC* síkillesztés
3. **Épületek poligonjainak elkészítése:** *RANSAC* tetősíkokból létrehozható épület poligonok
4. **Terep poligonjának elkészítése:** Épületek poligonjai alapján létrehozható terep poligon
5. **3D modell létrehozása:** 3dfier szoftver alkalmazása

## 7. Irodalomjegyzék

**3D geoinformation group.** (2023). *3dfier documentation*.

Forrás: <https://tudelft3d.github.io/3dfier/>

**Brodu, N., & Lague, D.** (2012). 3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: Applications in geomorphology. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 68, 121-134.

Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.01.006>

**CloudCompare.** (2023. 08 23).

Forrás: <https://www.danielgm.net/cc/>

**Fischler, M., & Bolles, R.** (1981). Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun*, 24, 381–395.

Forrás: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>

**LAS Specification 1.4 - R14.** (2019). The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing.

Forrás: [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS\\_1\\_4\\_r14.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS_1_4_r14.pdf)

**Ledoux, H., Biljecki, F., Dukai, B., Kumar, K., Peters, R., Stoter, J., & Commandeur, T.** ( dátum nélk.). 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. *Journal of Open Source Software*.

Forrás: <https://doi.org/10.21105/joss.02866>

**Li Li, Jian Yao, Jingmin Tu, Xinyi Liu, Yinxuan Li, & Lianbo Guo.** (2020. 04 25). Roof Plane Segmentation from Airborne LiDAR Data Using Hierarchical Clustering and Boundary Relabeling. *Remote Sens*.

Forrás: <https://doi.org/10.3390/rs12091363>

**QGIS Contributors.** (2022). QGIS (3.22.3).

Forrás: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5869838>

**RIEGL VQ 780II.** (2022. 9 5).

Forrás: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegldownloads/RIEGL\\_VQ-780II\\_Datasheet\\_2022-09-05.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/RIEGL_VQ-780II_Datasheet_2022-09-05.pdf)

**Schnabel, R., Wahl, R., & Klein, R.** ( 2007). Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection.

**Takács, B., & Lovas, T.** (2023). A pontfelhők készítésének és alkalmazásának helyes gyakorlatáról. *MÉRNÖK ÚJSÁG XXX*.

**Wuming Zhang, Jianbo Qi, Peng Wan, Hongtao Wang, Donghui Xie, Xiaoyan Wang, & Guangjian Yan.** (2016. 6 15). An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sensing*.