Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata

142.

Pontfelhők kiértékelése a mérnöki gyakorlatban

Szakmai útmutató pontfelhők általános kezelésére és azokból történő vektoros kiértékelés támogatására

Geodéziai és Geoinformatikai Tagozat

FAP-2025/112-GGT

Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 142.

Pontfelhők kiértékelése a mérnöki gyakorlatban

Szakmai útmutató pontfelhők általános kezelésére és azokból történő vektoros kiértékelés támogatására

MMK FAP azonosító:
2025/112-GGT

Budapest, 2025. október 14.

A sorozat szerkesztője:

WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Geodéziai és Geoinformatikai Tagozatának gondozásában, a 2025. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

Csörgits Péter / 01-13528

Lehoczky Máté / 19-01111

Molnár Bálint / 01-21161

Stenzel Sándor / 01-16872

Lektorálta:

dr. Tóth Zoltán / 07-1187

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1118 Budapest, Budaörsi út 125/A.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló 7

2. Bevezető 8

3. A pontfelhő előállítás mérnöki eszközei 12

3.1 Statikus lézerszkennerek - TLS 12

3.2 Mobil lézerszkennerek - MLS/MMS 14

3.3 Légi lézerszkennerek - ALS 16

3.4 SLAM lézerszkennerek - SLAM 19

3.5 Drónos lézerszkennerek - ULS 21

3.6. Földi és mobil fotogrammetria 22

3.7. Légi fotogrammetria 24

3.7. Drónos fotogrammetria 25

4. A megrendelővel tisztázandó kérdések 28

4.1 A pontfelhő nem modell! 28

4.2 Ha 3D-modell, akkor pontosan melyik? 28

4.3 Georeferált pontfelhő? 28

4.4 Intenzitás és RGB színezésű pontfelhő? 29

4.5 A 'milliméter pontos' pontfelhő 29

5. A megfelelő szkenner kiválasztása 31

6. A pontfelhők előfeldolgozása és előszűrése 45

6.1 Pontfelhők előfeldolgozása 45

6.1.1 Adatkezelés 45

6.1.2 Referencia adatok letöltése 45

6.1.3 Trajektória számítás 45

6.1.4 Előfeldolgozás, lehatárolás 46

6.1.5 Pontok számítása 46

6.1.6 Pontok színezése 46

6.1.7 Pontfelhő abszolút igazítása 47

6.1.8 Pontfelhő relatív igazítása 47

6.1.9 Pontfelhő exportálása 48

6.2 Pontfelhők előszűrése 48

6.2.1 Zajszűrés 48
6.3. Pontfelhők relatív illesztése 49
6.3. Pontfelhők abszolút illesztése 51

7. Vektoros kiértékelés pontfelhőből 53

7.1 A vektoros kiértékelés célja 53
7.2 A vektoros kiértékelés megközelítése 53
7.2.1 Szelvény alapú kiértékelés 53
7.2.2 Perspektív kiértékelés 54
7.2.3 Felülnézeti kiértékelés 55
7.3 A pontfelhőből kiértékelés eszközei 55
7.3.1 Snap vagy tárgyraszter módok 55
7.3.2 Drape eszköz 58
7.3.3 Többvonalas kiértékelő eszközök 59
7.3.4 Alakzat kiértékelők 61
7.3.5 Felületépítés 61
7.3.6 Automata és félautomata kiértékelés 63
7.3.7 Felület-felhő különbség képzés 65

8. A pontfelhők leggyakrabban előforduló hibái 68

8.1 Felhasználói hibák 68
8.1.1 A szkenner mozgatása mérés közben - TLS 68
8.1.2 Nem megfelelő útvonal választása - MLS, ALS, ULS, SLAM 69
8.2 Környezeti hibák 70
8.2.1 Tükröződések - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM 70
8.2.2 Víz, vizes felületek, hó, köd - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM 72
8.3 Feldolgozási hibák 74
8.3.1 Szellemképes pontfelhő - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM 74
8.3.2 Export hibák - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM 76
8.4 Egyéb, a technológia sajátosságaiból adódó hibák 78
8.4.1 “Pont túlfutás” - TLS, MLS, SLAM 78
8.4.2 Színezési hibák - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM 79

9. Mellékletek 81

9.1 Kifejezéstár 81
9.2 Kiértékelő szoftverek bemutatása 90

9.2.1 CloudCompare 91
9.2.2 QGIS 92
9.2.3 PointCloudScene (PCS) 93
9.2.4 TopoDOT 94
9.2.5 TerraSolid 95
9.2.6 AutoCAD Civil 3D 97
9.2.7 MicroSurvey CAD 98
9.2.8 Undet 99
9.2.9 Limon Tools 100
9.2.10 n4ce 101
9.2.11 SCC 102
9.2.12 InfraWorks 103
9.2.13 Recap Photo 104
9.2.14 Recap Pro 105
9.2.15 Revit 106
9.2.16 ArcGIS Pro 107
9.2.17 Global Mapper 108
9.2.18 Trimble Business Center 109
9.2.19 Quick Terrain Modeler 110
9.2.20 3D Survey 111
9.2.21 FARO As-Built Suite 112
9.2.22 LEICA Cloudworx 113
9.2.23 LEICA Cyclone 3DR 114
9.2.24 Archicad 115

1. Vezetői összefoglaló

A 3D pontfelhő technológia az elmúlt két évtizedben a magyar mérnöki gyakorlat egyik legdinamikusabban fejlődő területévé vált. Bár a 3D-szkennelés és a pontfelhő-előállítás mára nem számít újdonságnak – hiszen hazánkban is több mint húsz éve alkalmazzák –, a hardver- és szoftverfejlesztések, valamint az árak csökkenése révén ezek az eszközök és módszerek ma már nemcsak a nagyvállalatok, hanem a kisebb mérnökirodák és vállalkozások számára is elérhetővé váltak. A pontfelhő olyan, háromdimenziós koordinátákkal rendelkező pontok halmaza, amely a valóság rendkívül részletes, digitális leképezését teszi lehetővé. A pontfelhő-előállítás mérnöki eszközei mára a geodézia, az építőipar, a közlekedés, az ipari létesítmények felmérése, a műemlékvédelem és számos egyéb szakterület alapvető adatgyűjtési és dokumentációs módszerévé váltak. A pontfelhők alkalmazása lehetőséget biztosít a valós világ digitális másolatának létrehozására, amelyből később különböző tematikus információk, vektoros modellek, térképek vagy akár komplex BIM rendszerek is előállíthatók. A pontfelhő-előállítás technológiái jelentős diverzitást mutatnak: statikus (TLS), mobil (MLS), légi (ALS), drónos (ULS), SLAM-alapú rendszerek, valamint fotogrammetriai módszerek egyaránt elérhetők a magyar piacon. Mindegyik technológia sajátos előnyökkel, korlátokkal és alkalmazási területekkel rendelkezik, ezért a mérnöki feladatok megoldásához elengedhetetlen a technológia helyes megválasztása és a pontfelhő minőségi jellemzőinek pontos ismerete. A szakmai útmutató célja, hogy átfogó képet adjon a pontfelhő-előállítás jelenlegi eszköztáráról, a pontfelhők feldolgozásának és kiértékelésének módszertanáról, valamint a leggyakoribb hibákról és azok kezeléséről. Kiemelt hangsúlyt kap a megrendelői igények pontos tisztázása, a megfelelő technológia kiválasztása, valamint a pontfelhők minőségének értékelése és dokumentálása. A dokumentum minden mérnök számára hasznos segítség lehet, azonban a legtöbb figyelmet Geodéziai és Geoinformatikai Tagozatként a földmérési munkához kapcsolódó termékek előállítására fordítottunk. A segédlet szerkezete tematikusan végig vezeti az olvasót a pontfelhő-előállítás mérnöki eszközein, a feldolgozás és kiértékelés lépésein, a hibák és torzulások felismerésén, valamint a legfontosabb kiértékelő szoftverek bemutatásán. A pontfelhő-technológia alkalmazása a mérnöki gyakorlatban nem csupán a mérési és modellezési folyamatokat forradalmasította, hanem új szemléletet is hozott a digitális adatkezelésben, a dokumentációban és a minőségbiztosításban. A jelen útmutató célja, hogy a magyar mérnöki közösség számára naprakész, gyakorlati szempontból is hasznos tudásanyagot biztosítson, elősegítve a pontfelhő-alapú adatgyűjtés és feldolgozás helyes, megbízható és hatékony alkalmazását.

2. Bevezető

A pontfelhő alapú mérési technológiák hazai bevezetése óta eltelt két évtized alatt az elérhetőség és a gazdaságosság ugrásszerűen javult. Az informatika robbanásszerű fejlődésével a hardver és szoftver árak zuhanni kezdtek és ezek a korábban igencsak magas befektetést igénylő mérőrendszerek mára elérhetővé válnak egyre több kis, - és középvállalkozó számára is. A nemzetközi piaci elemzések alapján a pontfelhő-alapú adatgyűjtés és feldolgozás éves növekedési üteme meghaladja a 12%-ot, a piac volumene 2025-ben már 1,3 milliárd dollár körül mozog, amely 2030-ra várhatóan 3,5 milliárd dollár fölé emelkedik. Ezt a jelentős növekedést több tényező együttesen ösztönzi: a technológia egyre szélesebb körű alkalmazási területei (épület-felújítás, infrastruktúra-fejlesztés, környezeti monitoring, ipari digitalizáció), a mérőeszközök pontosságának és hatékonyságának növekedése, valamint az adatfeldolgozó szoftverek fejlődése. A felhasználási területek folyamatos diverzifikálódása – építőipar és építészet (35%), közlekedés és autóipar (25%), gyártás és minőségbiztosítás (20%) – jól mutatja a technológia sokoldalúságát és jövőbeli potenciálját.

A pontfelhő-technológia fejlődése mögött jelentős paradigmaváltások húzódnak meg. Az egyik legfontosabb hajtóerő a mesterséges intelligencia (AI) és a gépi tanulás (ML) integrációja, amely lehetővé teszi a pontfelhők automatikus osztályozását, az objektumfelismerést és a kiértékelési folyamatok jelentős gyorsítását. Például a PointNet és PointNet++ algoritmusok labor környezetben már 90% feletti pontossággal képesek automata objektumfelismerésre, miközben a deep learning módszerek forradalmasították a nagy adathalmazok feldolgozását és a valós idejű osztályozást. A felhőalapú (cloud) számítástechnika térhódítása szintén átalakítja a szakmát: a nagy adathalmazok tárolása, megosztása és feldolgozása ma már valós időben, elosztott rendszerekben is megoldható, jelentősen csökkentve a hardveres beruházások költségeit.

Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy bár a technológiai fejlődés számos folyamatot automatizált és felgyorsított, a pontfelhő-alapú adatgyűjtés és -feldolgozás továbbra is magas szintű szakmai kompetenciákat igényel. A különböző adatgyűjtő rendszerek (TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM, fotogrammetria) előnyeinek, korlátainak, hibaforrásainak és alkalmazási területeinek alapos ismerete elengedhetetlen a megfelelő minőségű végeredmény eléréséhez. Hiába állnak rendelkezésre részben automatizálható osztályozási és kiértékelési eljárások, a végső termék minőségét döntően befolyásolja a mérnökök szakmai tapasztalata és gyakorlatias műszaki szemlélete.

A pontfelhő-technológia helyes alkalmazása nem helyettesítheti, hanem kiegészíti a hagyományos földmérési ismereteket és módszereket. A geodéziai alapelvek, a

koordinátarendszerek, a vetületi transzformációk és a mérési hibák kezelésének alapos ismerete nélkül a legfejlettebb szkenner és szoftver sem képes megfelelő minőségű eredményt produkálni. A manuális ellenőrzés és szakértői felülvizsgálat továbbra is elengedhetetlen lépések maradnak a munkafolyamatban, különösen a kritikus mérnöki alkalmazások esetében, ahol a pontosság és a megbízhatóság alapkövetelmény.

A szoftveres háttér fejlődése szorosan követi a hardveres innovációkat, a nyílt forráskódú és kereskedelmi szoftverek egyre szélesebb funkcionalitást kínálnak. A szoftverek fejlődése ellenére a pontfelhő-feldolgozás és kiértékelés automatizálása továbbra is komoly korlátokba ütközik, különösen összetett környezetekben és nagy pontossági követelményeket támasztó alkalmazásokban. A szakemberek tapasztalata és mérnöki döntései meghatározó jelentőségűek maradnak a feldolgozási paraméterek helyes megválasztásában, az anomáliák felismerésében és kezelésében, valamint a végeredmény minőségbiztosításában.

A következő években várhatóan tovább gyorsul a technológiai fejlődés: a generatív mesterséges intelligencia, a kvantum-számítástechnika, az 5G/6G hálózatok, valamint a térbeli számítástechnika (spatial computing) új távlatokat nyitnak a pontfelhő-alapú adatgyűjtés, elemzés és vizualizáció területén. A digitális ikrek (Digital Twins), a valós idejű monitoring, a fenntarthatósági szempontok és a környezeti hatásvizsgálatok mind-mind a pontfelhő-technológia jövőbeli alkalmazási területei közé tartoznak. Ezek a fejlesztések azonban csak akkor hozhatják meg a várt eredményeket, ha megfelelő szakmai háttérrel, folyamatos továbbképzéssel és minőségbiztosítási rendszerrel párosulnak.

A szakmai közösség számára kiemelt jelentőségű a folyamatos továbbképzés, a nemzetközi előírások, szabványok, javaslatok követése, valamint a tapasztalatok megosztása. A Magyar Mérnöki Kamara képzési programjai és minőségtanúsítási rendszere fontos szerepet játszik a szakemberek naprakész tudásának biztosításában és a szakmai színvonal fenntartásában. A mérnöki felelősség és etika kérdése – különösen a pontfelhő-alapú tervezési és dokumentációs folyamatokban – szintén előtérbe került, hiszen a technológia alkalmazásának megfelelősége végső soron a szakember felelőssége marad.

A technológia sikeres bevezetése és alkalmazása átgondolt implementációs stratégiát igényel, amely a megrendelői igények pontos feltérképezésétől a megfelelő mérőrendszer és szoftver kiválasztásán, a minőségbiztosítási protokollok kidolgozásán át a jogszabályi és szabványosítási követelmények betartásáig terjed. A nemzetközi szabványok, javaslatok alkalmazása és a hazai szakmai közösség aktív részvétele a szabványosításban elengedhetetlen a versenyképesség megőrzéséhez és a minőségi szolgáltatások biztosításához.

A jelen szakmai útmutató célja, hogy átfogó, gyakorlatorientált képet adjon a pontfelhő-előállítás, feldolgozás és kiértékelés teljes folyamatáról, különös tekintettel a magyarországi mérnöki gyakorlatra. Az anyag készítése során kiemelt figyelmet fordítottunk arra, hogy bemutassuk a különböző technológiák előnyeit és korlátait, a leggyakoribb hibákat és azok kezelési módszereit, valamint a minőségbiztosítás szempontjait. Az útmutató egyaránt szól a tapasztalt szakembereknek és a technológiával most ismerkedő mérnököknek, oktatási segédanyagként és referenciadokumentumként egyaránt használható.

Bár a technológia rohamos fejlődése és az automatizált megoldások térhódítása kétségtelen tény, ez a szakmai útmutató határozottan rámutat, hogy a megfelelő geodéziai minőségbiztosítás és szaktudás továbbra is elengedhetetlen, a manuális ellenőrzés és szakértői munkavégzés szerepe nem csökkenthető. A valóban minőségi végeredmény eléréséhez továbbra is szükség van a rutinos földmérő tudásra, a folyamatos szakmai továbbképzésekre és a mély mérnöki ismeretekre, amelyek megalapozzák a technológia helyes, etikus és szakszerű alkalmazását.

Felhívnám a tisztelt olvasók figyelmét, hogy a pontfelhő alapú felmérés és adatfeldolgozás számos területét jelenleg is szigorú jogszabályok határozzák meg: 327/2015. (XI. 10.) Korm. rendelet az egyéb célú földmérési és térképészeti tevékenységgel összefüggő szakmagyakorlás részletes szabályairól

3. § (1) Geodéziai tervezői minősítés szükséges az építmények tervezésével, megvalósításával, működtetésével, vizsgálatával kapcsolatos következő geodéziai feladatok irányításához, minőségtanúsításához:

a) építménytervezés célját szolgáló tervezési alaptérképek készítése,

b) építmények geodéziai kitűzése, geodéziai művezetése,

c) építési feladatok geodéziai irányítása és ellenőrzése,

d) a megvalósult állapot geodéziai műszaki dokumentációjának elkészítése,

e) közművezetékek geodéziai bemérése, analóg alapanyagon lévő szakági térképek, helyszínrajzok digitális átalakítása, térképezése,

f) műszaki térinformatikai rendszerek újonnan előállítandó térképi alapjainak létrehozása, és azok változásvezetése,

g) településtervezéshez, területrendezéshez, településfejlesztéshez szükséges térképek készítése.

(2) Természetes tereptárgyak, illetve építmények mozgás- és deformáció vizsgálati méréseit geodéziai tervezői minősítéssel rendelkező földmérő végezhet.

(3) Geodéziai szakértői minősítéssel a szakterületen teljeskörűen végezhető az építmények tervezésével, megvalósításával, működtetésével, vizsgálatával kapcsolatos geodéziai vonatkozású kérdések ok-okozati összefüggéseinek értékelése, és mindezekkel kapcsolatban szakértői vélemények készítése, szakmai tanácsadás, javaslattétel.

Ezen túl a Magyar Mérnöki Kamara Etikai szabályzata szerint:
2.2.3. A megbízóval való viszonyra vonatkozó etikai elvárások

(1) A kamarai tag nem tesz szakszerűtlen, a hatályos jogszabályokkal, hatósági előírásokkal, szabványokkal, műszaki előírásokkal – vagy ezekkel bizonyítottan egyenértékű megoldásokkal – ellentétes engedményt megbízója részére, még akkor sem, ha ezzel állását vagy megbízását veszélyezteti.

(4) A kamarai tag megfelelő időben tájékoztatja megbízóját

b) a szakmagyakorlás során felmerült más lényeges körülményről.

3.3. Súlyos fegyelmi vétség

(3) Jogosultság nélküli szakmagyakorlási tevékenységnek minősül különösen:

a) ha a kamarai tag olyan tervet vagy más dokumentációt készít, aláír,

b) ha a kamarai tag olyan szakértői véleményt készít, ad,

c) ha a kamarai tag felelős műszaki vezetőként olyan kivitelezési tevékenységben vesz részt,

d) ha a kamarai tag műszaki ellenőrként olyan kivitelezési tevékenységet ellenőriz, vizsgál,

e) ha a tervellenőr olyan tervezési vagy tervellenőrzési tevékenységet végez,

f) ha a tervezői művezető olyan kivitelezési dokumentációt készít vagy annak megvalósulását ellenőrzi,

g) ha a kamarai tag olyan beruházáslebonyolítói, költségszakértői, vagy tervellenőri tevékenységet végez, amelyhez megfelelő jogosultsággal nem rendelkezik.

3. A pontfelhő előállítás mérnöki eszközei

A 3D-szkenner, mint gyűjtőfogalom nagyon széles spektrumát fedi le a piacon fellelhető eszközöknek. A geodéziában megszokott klasszikus térszkennerek mellett ide sorolhatjuk a nagy pontosságú közel, - illetve tárgy szkennereket, az un. karos megoldásokat, sőt tulajdonképpen az orvostudományban alkalmazott speciális mérőrendszereket is.

Jelen fejezetben a fentiek körét erősen leszűkítve, a természeti és épített környezetünk közvetlen leképezésére, nagy méretarányú térképezésére alkalmazott 3D-pontfelhők előállítására használt, elsősorban geodéziai és térinformatikai adatgyűjtő eszközökről lesz szó.

Hatékonyságukat jól jellemzi, hogy a mérés eredménye nem csupán egy-egy diszkrét pont, hanem diszkrét pontok sokasága, amit a fent már említett 3D-pontfelhőnek nevezünk. A 3D pontfelhő előállításakor a valós világot "visszük" be az irodába, virtuális valóság formájában. A terepen nincs adat generalizálás, illetve információvesztés, a tényleges mérés, kiértékelés az irodában a fotorealisztikus virtuális térben történik,

A szkennereket számos módon lehet csoportosítani. Mi most ezt mozgási állapotuk alapján tesszük meg.

3.1 Statikus lézerszkennerek - TLS

A statikus, avagy álló - szkennelés egy nagy sebességű, reflektor nélküli, jellemzően jel futásidő méréséből (ToF – Time of Flight) származó távmérésen és nagy pontosságú szögmérésen alapuló, ismételt poláris felmérési technológia. Szemben a klasszikus mérőállomásos észleléssel, a térszkennelés kizárólag felmérésre alkalmazható, nem irányzott és csak a műszer számára is "látható" objektumok, reflektor nélküli bemérésére alkalmazott eljárás. A teljesség igény nélkül nézzünk meg néhány fontos és jellegzetes statikus 3D-szkenner tulajdonságot!

A speciális célú seprő szkennereken kívül az állószkennerek általános jellemzője, hogy teljes egészében képesek körbefordulni saját állótengelyük körül, azaz horizontális látószögük 360°. Míg a szektor szkennerek esetén a forgótükör vertikális látószöge a műszer kialakításának függvényében behatárolt (pl.: vízszintes irányvonaltól - 35°+65°=100°), addig a dómszkennerek érzékelőinek lehetőségük van magasságilag is teljesen átfordulni, kvázi gömbszerűen leképezve maguk körül a valóságot.

Természetesen, magassági értelemben soha nem beszélhetünk 360°-os látószögről, hiszen a műszer nem lát be saját felépítménye, illetve az állványa alá. Ott mindig egy

vakkúp keletkezik majd. Ezért is van, hogy az álló szkennerből származó pontfelhőkben jellegzetes körök jelennek meg az egyes álláspontok alatt. A dóm szkennerek vertikális látószöge gyártótól függően általában 200° - 300° közé tehető.

A pontfelhő általában nem csak sok millió diszkrét pont 3D koordinátáit tartalmazza. A térbeli pozíciójuk mellett számos egyéb információt képes tárolni hozzájuk. Ilyen pl. az intenzitás adat, mely megfelelő értelmezéssel, szűréssel megjelenítve (pl. távolságkorrekcióval ellátva) a visszaverő felület minőségéről, anyagáról is közvetít információt. Ezeket a feldolgozó szoftverek többféle színskálán képesek megjeleníteni. Ilyen pl. a szürkeárnyalatos, vagy egyéb hamisszínes (kék-zöld-sárga-vörös, kék-fehér-vörös, barna-sárga, stb.) színskála.

Amennyiben a terepen alkalmazott mérőrendszer rendelkezik integrált,- vagy rátét kamerával és a szkennelés közben fényképezés is történik, a kameraképekkel valódi színes, fotorealisztikus un. RGB pontfelhő állítható elő. Egyes feldolgozó irodai alkalmazásokban lehetőség van külső forrásból (egyéb kamerából, sőt az internetről) származó képek felhasználásra is.

Korábban főleg a légi szkennereknél elterjedt, de ma már - magasabb befektetést igénylő - statikus, mobil (sőt, már SLAM) mérőrendszerben is elérhető a teljes hullámforma analízis. Ez az eljárás lehetővé teszi, hogy a szkenner "belásson" pl. lombhullató növényzet mögé. Ez természetesen nem "röntgenlátás". A lézersugár ugyan koherens, nagyon jól fókuszált, kis átmérőjű, de mégis van széttartása (divergencia), emiatt már 5-10 méter távolságban sem pontszerű, hanem folt, melynek átmérője eszköztől függően 3-5-10mm is lehet (nagyobb távolságban akár több cm is). A távolság növekedésével a lézerfolt még jobban szétterül, ezért előfordul, hogy a lézersugár egy része visszaverődik, de egy másik része "tovább halad", és egy távolabbi felületről verődik vissza. Ugyan az eszköz csak egy visszaverődést rögzít, de a visszaérkező jel hullámforma analízise során a több, különböző távolságban levő céltárgy is azonosítható. Ezt a jelenséget hívjuk többszörös visszaverődésnek, bár technikailag helyesebb lenne többszörös céltárgy azonosításnak hívni. Az szkennerek egy része képes egynél több céltárgyról történő visszaverődést is feldolgozni, némelyik akár 8-12 céltárgyat is le tud kezelni egyetlen impulzus esetén. Az ilyen részleges visszaverődések feldolgozásával van esély pl. a növényzet takarásában levő objektumokról (pl. házfal) visszaverődést kapni - "megmérni". A többszörös visszaverődés akkor is hasznos, ha pl. a fák ágszerkezetét vizsgáljuk, vagy egy erdő lombkoronája alatti talajpontokat (terepfelszínt - DTM) akarunk meghatározni légi lézerszkenneléssel. Erdészeti célú légi felméréseknél pl. a lombkorona takarásában levő fatörzsek helyének és átmérőjének meghatározása is lehetséges így.

Fontos tulajdonsága egy álló szkennernek az abszolút pozicionálás lehetősége. Több műszer rendelkezik beépített GNSS vevővel, illetve antennával. Ezek célja nem az álláspont pontos meghatározása, hanem kültéri mérések esetén már a terepi, illetve az irodai relatív illesztés támogatása. Ugyanakkor számos szkennerhez illeszthető multi-frekvenciás és -konstellációs, integrált RTK GNSS vevő. Esetükben a helymeghatározás geodéziai pontosságú, egyszersmind georeferálásként is szolgálhat. Használatukkor felmerül a kérdés, elégséges-e ennek a pontossága, vagy a feladat nagyobb abszolút illesztési pontosságot vár el.

Számos, a piacon elérhető állószkennernél van mód a csaknem valós idejű, terepi pontfelhő szemlélésre. Ebben az esetben az álláspontok elkészültét követően a műszer automatikusan letölti a kezelő egységbe az észlelések eredményeit. A vezérlő pedig megjeleníti, mérhetővé, barangolhatóvá teszi, sőt folyamatosan illeszti egymáshoz a pontfelhőket. Ezáltal nem csak automatikussá válik a relatív regisztráció, de a felhasználó már a terepen információt kap arról, ha pl. kimaradt, vagy nem látszik egy-egy részlet.

Több 3D-szkenner alkalmas már a pontfelhők terepi abszolút illesztésére, azaz georeferálására. Ehhez kvázi mérőállomás módban képesek különféle geodéziai mérési műveletekre.

3.2 Mobil lézerszkennerek - MLS/MMS

Az MLS (Mobile Laser Scanning), avagy az MMS (Mobile Mapping System) integrált, kalibrált szenzorok összessége, mely egyben bármilyen hordozóra (közúti, vasúti, vízi jármű) könnyedén átszerelhető.

<u>A szenzorok és rendszerelemek négy fő részre oszthatók:</u>

- Pozícionálás:

A szenzoregyüttes folyamatos méréskori origójának pontos helyzet-meghatározásához többféle pozícionáló eszközt alkalmaznak. Ezen mérési pontoknak összességét, bejárt útját trajektóriának (trajectory) is szokás nevezni.

A pozícionálás során meg kell különböztetnünk a hely- és a helyzetmeghatározást, mely magyar nyelvben kevésbé tűnik különbözőnek (angolul position, attitude). Az MLS helymeghatározásához multi-konstellációs és - frekvenciás GNSS (Global Navigation Satellite System) mérőrendszert alkalmaznak, jellemzően 1 Hz feletti mérési gyakorisággal (fejlettebb eszközökben ez akár 20 Hz is lehet, azaz 20 pozíciómeghatározás másodpercenként). A legtöbb MLS rendszer esetén lehetőség van RTK korrekció vételére, de nagyobb abszolút pontosság érhető el utófeldolgozott GNSS módszerrel.

Az IMU (Inertial Measurement Unit) egy nagy pontosságú inerciális (tehetetlenségi) elmozdulás és elfordulás mérő egység, mely folyamatosan méri és rögzíti a térképező rendszer térbeli mozgását, és a tengelyek körüli elfordulását, dőlését és billegését. Ez a rendszer határozza meg az eszköz térbeli helyzetét (attitude), illetve GNSS jelkiesés esetén az IMU minőségétől függően néhány másodperctől néhány percig terjedő intervallumban pozíciómeghatározásban is át tudja venni a kiesett GNSS szerepét (pl. alagútban, lombkorona alatt, szűk városi „kanyonokban"). Nagy dinamikájú alkalmazásokban a frissítési gyakorisága elérheti a 200 Hz-et is. Amennyiben mód van rá, pl. közúti hordozó esetén az MLS-eknél fontos kiegészítő, mérést pontosító eszköz lehet a DMI (Distance Measurement Instrument), azaz odométer. Ez a jármű kerékagyára rögzítve méri annak elfordulását az észlelés során. Vasúti alkalmazásban is előfordul kerékre szerelt DMI alkalmazása, de létezik már kamera alapú elmozdulásmérő rendszer is vasúti mobil szkenneléshez.

A fenti műszereket az elmúlt néhány évben a gyártók kiegészítették az un. GAMS (GNSS Azimuth Measurement System, vagy Subsystem) technológiával. Ebben az esetben kiegészítő GNSS antennák szolgáltatnak folyamatosan további azimut információt a szenzoregyüttes mozgásáról. Ezekre a rendszerekre jellemző, hogy csak jó GNSS jelvételi körülmények között jelentenek segítséget, és inkább az olcsóbb IMU-t használó rendszereket egészítik ki velük, ugyanis egy jó IMU és egy GNSS vevő+antenna között akár százszoros árkülönbség is lehet (800€ vs80 000€).

- Távérzékelés:

Egy MLS távérzékelési szenzoraihoz soroljuk a szkennereket és kamerákat. Megkülönböztetünk egyes (single), valamint kettős (dual) szkenner fejes mérőrendszereket, illetve kifejezetten vasúti alkalmazáshoz fejlesztett hármas (triple) kialakítást.
A kamerák esetén beszélhetünk szférikus (gömbszerű), valamint állítható megoldásokról (illetve akár ezek kombinációjáról is). Az előbbi gömbpanoráma képek készítésére alkalmas és egy kerül felszerelésre a rendszerbe. Az utóbbiakból egyszerre több (akár különböző látószögű, felbontású) is installálható és irányuk a feladat függvényében szabadon, vagy adott állásszög(ek)be forgatható és rögzíthető. A kamerák célja lehet a pontfelhők RGB színezése és ezzel a pontfelhő feldolgozásánál plusz vizuális információ szolgáltatása, vagy akár közelképek készítése (pl. útfelszín hibáinak keresése). Ugyanakkor egyes gyártók irodai alkalmazásában mód van a sorozatos, átfedéssel készített képekből fotogrammetriai kiértékelésre is. Elsősorban olyan terepi vakfoltok kiegészítő kiértékelésénél szokás ezt alkalmazni, ahová a szkenner nem látott be, ám kép készült róluk.

- Rendszervezérlő és adatrögzítő egység

Mint minden mérőrendszer, az MLS is rendelkezik vezérlő és adatrögzítő egységgel. A vezérlés jellemzően a hordozó jármű kabinjából, utasteréből történik, de a folyamatos fejlődés jegyében léteznek már nagymértékben automatizált mérőrendszerek is, ahol az előre meghatározott és az MLS rendszerbe feltöltött munkaterület lehatárolás alapján az automatizmus indítja és állítja le az adatrögzítést, és tagolja a mérést (record toggle). A kezelőegység manapság általában tablet, mely kényelmesen, kábel nélkül csatlakozik a rendszerhez.

Egy MLS hatalmas adatmennyiséget generál, így központi egységéhez több, nagy kapacitású tárolóegység csatlakozik. Egész napos mérés egy kétfejes mobil szkennerrel, panorámakamerával akár 1-1.5 TB nyers adatot is generálhat.

- Energiaellátás

Az MLS általában külső energiaforrást használ, közúti járművek esetében pl. a hordozó generátorát. Emellett természetesen minden esetben rendelkezik saját akkumulátorral. Ennek célja, hogy külső táp kiegészítése, az esetleges kiesés, feszültségingadozás kivédése.

Az kettős szkennerfejjel rendelkező mobil térképező rendszerek pontfelhőjére jellemző, a trajektóriával hegyes szöget bezáró, halszálkaszerű (vagy angol szaknyelvben gyémánt) mintázat. Ezeken a halszálka vonalakon belül a pont távolság egészen sűrű, milliméter, vagy az alatti is lehet. Az egyes halszálkák közötti távolság pedig a forgó lézertükrök forgási sebességétől és a haladási sebességtől függ. A haladási sebesség változtatásával növelhető, vagy csökkenthető. A fejlettebb rendszerekben a tükörforgás sebessége elérheti a 15000 RPM (250/sec) értéket is. A haladási sebességtől, a tükörforgási sebességtől, a lézerimpulzusok számától függően a pontfelhő sűrűsége 1-2000 pont/m2 és 10-20 000 pont/m2 között változhat.

3.3 Légi lézerszkennerek - ALS

A légi lézerszkennelés (ALS) a nagy kiterjedésű területek háromdimenziós, nagy pontosságú feltérképezésének egyik legmodernebb és leghatékonyabb eszköze. Az ALS technológia lényege, hogy egy repülőgépre vagy helikopterre szerelt, nagy teljesítményű lézerszkenner a felszín felett repülve folyamatosan méri a földfelszín, a növényzet és az épített környezet pontjainak távolságát.

Az ALS rendszerek egységnyi idő alatt a legnagyobb területet lefedő lézerszkennerek közé tartoznak: egyetlen repüléssel akár több száz négyzetkilométer is feltérképezhető. A repülési magasság, a lézerimpulzusok frekvenciája (akár 1–2 millió pont/másodperc),

a repülési sebesség, valamint a GNSS/IMU alapú pozícionálás együttes alkalmazásából határozzuk meg a pontfelhő sűrűségét és pontosságát. A modern rendszerek néhány cm-es felbontást is elérhetnek, de átlagos gyakorlatban feladat függően az 5-100 pont/m2 közötti pontsűrűség a jellemző.

Az ALS technológia egyik fő előnye a „teljes hullámforma analízis" képessége: a lézer az impulzus útjában levő, több, különböző távolságú tárgy távolságát is képes meghatározni, így a növényzet alatti terep vagy a többszintű városi környezet is pontosan feltérképezhető. A pontfelhők intenzitás- és RGB-információval is kiegészíthetők, ha a rendszer kamerával is van felszerelve. Ezen technológiai megoldás részleteit korábban ismertettük.

Felhasználási területei rendkívül széleskörűek: nagy területű topográfiai felmérések, erdészeti és mezőgazdasági monitoring, árvízvédelmi modellezés, városmodellezés, infrastruktúra-felmérés, bányászat, valamint környezetvédelmi és katasztrófa-elhárítási alkalmazások (pl. hóvastagság változás és ebből lavinaveszély előjelzése). Az ALS különösen hatékony nehezen megközelíthető vagy veszélyes területeken, ahol a földi adatgyűjtés korlátozott.

A technológia hátránya lehet a magas üzemeltetési költség, a repülőeszközök igénybevétele, valamint a repülési engedélyek és légtérhasználati szabályok betartásának szükségessége. Az adatmennyiség kezelése és feldolgozása szintén komoly szakmai felkészültséget igényel, különösen nagy projektek esetén. Fizikai megvalósításuk alapján többféle légi lézerszkenner létezik, melyek sokféle tulajdonságukban különbözhetnek, de talán a legérdekesebb a lézernyaláb eltérítési megoldások különbözősége, és ezzel szoros összefüggésben a kialakult pontfelhő mintázatok jelentős eltérése.

- Forgó poligontükör

Egyenletes pontsűrűségű szabályos mintázatú pontfelhőt eredményez, a trajektóriától távolabb sem ritkul a pontfelhő

- Forgó síktükör

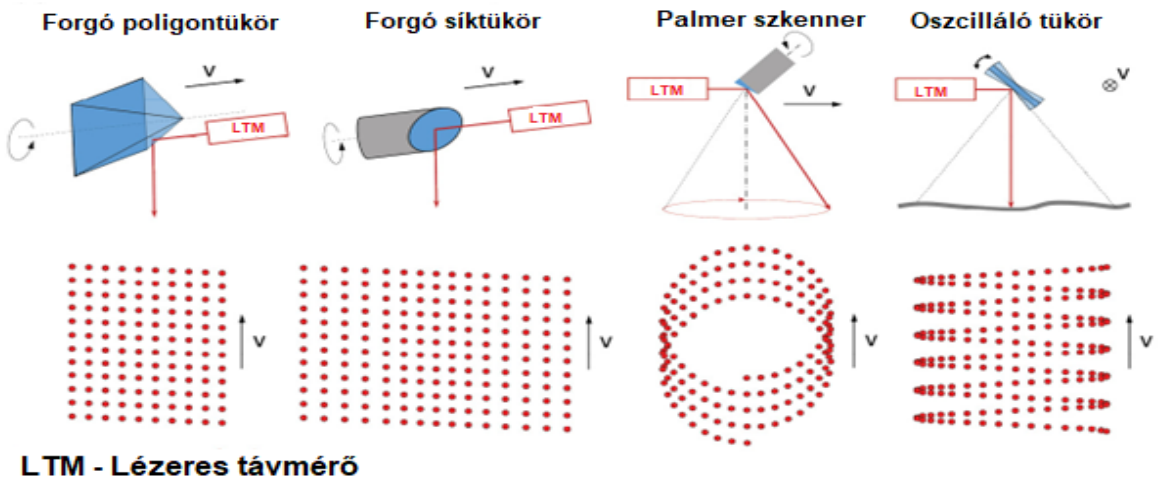
A pontfelhő párhuzamos vonalakon belül nem egyenletes eloszlású pontokból áll, a pontsűrűség a repülőgép alatt (nadír) a legnagyobb, a trajektóriától (jobbra-balra) távolodva csökken

- Palmer scanner

Kúppalást mentén mozgó lézersugárral (ferde síkkal metszett kúp alakú test alapja a tükör) végzett letapogatás, mely szabályos kör alakú mintázatban méri a pontokat. Ugyan a mintázat szabályos, de nem egyenletes a ponteloszlás

- Oszcilláló tükrös (vagy támolygó tükrös) lézerszkennelés

A haladási irányra merőleges szinusz-hullám szerű (sinusoid) mintázatot "rajzol", a pontsűrűség nem egyenletes.



1. ábra Forrás: Lidar Magazine (www.lidar.com)

2. ábra Forrás: Lidar Magazine (www.lidar.com)

Az ALS egyik legspeciálisabb alkalmazási területe a batimetriai lézerszkennelés, amely egyszerre képes a szárazföldi és víz alatti felületek pontos feltérképezésére. A módszertan lényege egy két-közegű mérési technológia, ahol a speciális rendszerek két különböző hullámhosszúságú lézert alkalmaznak egyidejűleg:

- Infravörös lézer (~1064 nm): Topográfiai mérésekhez és vízfelszín detektáláshoz, gyorsan elnyelődik a vízben.

- Zöld lézer (~532 nm): Batimetriai mérésekhez, optimális vízbehatolási képességgel rendelkezik.

A batimetriai lézerek esetén hosszabb impulzus szükséges a vízoszlopban történő szórás optimális kezeléséhez. A behatolási mélység szorosan összefügg a víz tisztaságával, amelyet Secchi mélység mérésekkel jellemeznek. Általános szabályként a LIDAR hatékony mélysége a Secchi mélység 2-3-szorosa, amely tiszta tengervízben akár 70 méter mélységig, édes vizekben és zavaros vizekben: 10-20 méter mélységig terjed. A levegő-víz határfelületen történő fénytörés kompenzálása összetett algoritmusokat igényel, mint a Snell-törvény (A fénytörési szög pontos számítása), a dinamikus vízfelszín

modellezés (hullámzás és vízmozgás hatásainak korrekciója, valamint valós idejű refrakció-korrekció (változó víz-levegő határfelület kezelése).

3.4 SLAM lézerszkennerek - SLAM

A SLAM a Simultaneous Localization and Mapping (azaz az egyidejű helymeghatározás és térképezés) angol szavak kezdőbetűiből származik.

A technológiai igény az '80-90-es években fogalmazódott meg a robotika iparágában. A felmerülő probléma az volt, hogy miként lehetne az autonóm járműveket, gépeket a gyárcsarnokokban úgy navigálni, hogy azok ne ütközzenek falba, oszlopokba, emberi személyzetbe, illetve ne karambolozzanak egymással.

Beltérben a GNSS-es pozíció meghatározásra természetesen nem volt lehetőség. Így született meg egy olyan digitális utasításkészlet, mely egyidejűleg képes feltérképezni maga körül a teret és navigálni is abban - ez a SLAM algoritmus. A SLAM lényegében egy, a szenzor adatokból származó, folyamatosan mért helyzetinformációkból legjobb becslést kereső, iteratív számítási folyamat. A kézi mobil térképező rendszerekben, ezt a technológiát optimalizálják kifejezetten térképezési célokra.

Az elmúlt két- három évben a kézi szkennerek gyakorlatilag elárasztották a műszerpiacot. Áruk és minőségük meglehetősen széles skálán mozog, éppen ezért nagyon nagy a felhasználók felelőssége abban, hogy milyen SLAM mérőrendszert, milyen célra és milyen eredménytermék előállítására használnak. A teljesség igény nélkül nézzünk meg néhány fontos SLAM kézi mobil térképező rendszer jellegzetességet!

A kézi SLAM-et első generációi a beltérben történő felhasználásra fókuszáltak. Később a szkennelési sebesség, hatótávolság növelésével egyre inkább kültéri munkaterületeken is alkalmazhatóvá váltak. Ugyanez volt igaz a rögzített pontfelhők adattartalmára. Az első SLAM-ek még ténylegesen csak a 3D pont koordinátákat mentették, intenzitás adat nélkül. Ez később megváltozott, ahogy az RGB pontfelhők előállításához belekerültek az integrált-, illetve különféle rátétkamerák is a mérőrendszerekbe.

A szkenner fejeket illetően itt is többféle megoldás elérhető. Egyes - jellemzően a magasabb befektetést igénylő, nagyobb pontosságú - modellek forgófejes kialakításúak. Ezeknél észleléskor minimális, gyakorlatilag a felhasználóra korlátozódik a kitakart terület, azaz a vakfolt. Hatótávolságuk és szkennelési sebességük is általában nagyobb, elérve, sőt bizonyos esetekben akár meg is haladva az egyszerűbb, olcsóbb állószkennerekét.

A forgófejes SLAM-eknél több gyártó is alkalmaz külső adatrögzítőt és energiaellátást. Ezek jellegzetes válltáska szerű kialakítású, kábeles megoldások. Ugyanakkor nem ritka a forgófejes szkennerek között sem a már teljesen integrált, kábel nélküli kialakítás sem.

A költségek, valamint a műszer méretének és -tömegének csökkentésére nem egy gyártó jelenik meg ún. LIVOX rendszerű szenzorral szerelt SLAM-ekkel. Ezekre kisebb hatótávolság, szkennelési sebesség, pontosság, valamint a szkenner forgási síkjára merőleges vakkúp a jellemző.

A SLAM technológia megjelenésekor az volt a vele kapcsolatos piaci kommunikáció, hogy olyan téradatgyűjtő megoldást képvisel, melynél - szemben a műholdas helymeghatározással - nincsen szükség kilátásra az égboltra. Természetesen, ez csak a relatív pozícionáláskor (pl.: beltérben), illetve olyan feladatoknál igaz, ahol nincs szükség abszolút regisztrációra. A kézi mobil térképező rendszerekből származó pontfelhők georeferálásához ugyanúgy szükség van "külső" geodéziai észlelésekre, mint bármelyik fent tárgyalt megoldásnál.

Erre a kihívásra a gyártók többféle módon reagáltak. Egyrészt számos műszernél az észlelés közben mód van felkeresni és a terepi szoftverben "leszúrni" (illesztőpont pontként megjelölni) az előre meghatározott földre, falra kihelyezett alappontokat. Ebben az esetben ezekhez a megjelölt észlelési helyekhez utó-feldolgozáskor kell abszolút értelmű koordinátákat rögzíteni. Persze, a georeferálás minősége itt (is) nagyban függ a kontrollpontok meghatározásának módjától és minőségétől. Amennyiben a feldolgozó szoftver lehetőséget biztosít rá és pontfelhő felbontása és szórása (vastagsága) is lehetővé teszi a kihelyezett jelek pontos beazonosítását, a felhőben is kijelölhetjük és abszolút koordinátákkal láthatjuk el a kontroll pontokat.

A másik megoldás a SLAM észleléskori, valós idejű pozícionálása. Ehhez a gyártók különféle kisméretű külső, rátét RTK GNSS vevőket kínálnak, illetve megjelentek már az integrált rendszerek is. Újfent hangsúlyozni kell, hogy a műholdas helymeghatározást csak ott szabad használni, ahol ezt a feladat pontosság igénye lehetővé teszi! Nagyszerű fejlesztésként hivatkozhatunk a kézi szkennereknél a valós idejű terepi pontfelhő megjelenítésére. Ezeknél a megoldásoknál a felhasználó a vezérlőként használt okostelefon, vagy tablet képernyőjén folyamatosan láthatja saját pozícióját és a körülötte felépülő 3D pontfelhőt. Ezzel a - korábban már az állószkennereknél is említett - módszerrel ellenőrizhető, maradt-e ki részlet felmérés során. A kézi mobil térképező rendszerek általában moduláris felépítésűek, így egy részük átszerelhető különböző olyan hordozó platformokra, mint pl. UAV, vagy közúti jármű.

Ennek a lehetőségnek tényleges terepi használatát a fizikai megvalósíthatósága mellett (SLAM tömege, mérete, energiaellátása, biztonsága, stb.), méréstechnikai szempontjait is

mérlegelni kell. Nem biztos, hogy a kisebb hatótávolságú, vagy szkennelési sebességű kézi mobil térképező rendszerekből származó pontfelhőkben, az egy négyzetméterre eső pontok száma elégséges a sétatempónál gyorsabb haladás esetén. Természetesen, ezt is az adott projekt céljai határozzák meg!

A SLAM-ekből származó pontfelhők mintázatában viszonylag nehéz szabályos mintázatot felfedezni, függ az egyes mérőrendszerek tartásától, a szkenner és a felhasználó terepi sebességétől.

A fentiek alapján látszik tehát, hogy a SLAM technológia kapcsán mennyire hangsúlyos szerepe és jelentősége van a tényleges minőségellenőrzésnek és -tanúsításnak, valamint az ilyen mérőrendszerekkel szolgáltató vállalkozók mérnöki felelősségvállalásának. Felmerül az alaptétel: használjunk mindent arra, amire való!

Egy pár-millió forintos eszközből származó pontfelhő minősége nagy valószínűséggel nem lesz elégséges ahhoz, hogy abból nagy pontosságú, pl. bővített tartalmú tervezési- vagy, megvalósulási alaptérképet állítsunk elő. Ugyanakkor objektum kataszterekhez, egyszerű, ingatlankereskedői alaprajzok készítéséhez, egyéb térinformatikai adatgyűjtéshez kiváló és kifizetődő lehet

3.5 Drónos lézerszkennerek - ULS

A drónos lézerszkennelés (ULS) az elmúlt évek egyik legdinamikusabban fejlődő távérzékelési technológiája, amely a pilóta nélküli légijárművek (UAV/UAS) és a kompakt, nagy pontosságú lézerszkennerek integrációján alapul. Az ULS rendszerek lehetővé teszik a nehezen megközelíthető, veszélyes vagy kisebb kiterjedésű területek gyors és hatékony háromdimenziós felmérését, miközben költséghatékony alternatívát kínálnak a hagyományos légi lézerszkenneléssel szemben.

A drónos lézerszkennerek tipikusan 1,5–5 kg tömegűek, és könnyű, közepes vagy nagy teherbírású UAV platformokra szerelhetők. A legújabb rendszerek 100–550 kHz pulzusszámot, akár 1000 méteres hatótávot, 10–15 mm-es relatív pontosságot, valamint akár 15 célpontig terjedő többszörös céltárgymeghatározást biztosítják. A drónos lézerszkennerek egyik fő előnye (a nagygépes légi lézerszkenneléssel összehasonlítva) a nagy pontsűrűség: alacsonyabb repülési magasságból akár 100–500 pont/m^2 sűrűségű pontfelhő is előállítható, ami részletgazdag modellezést tesz lehetővé.

Az ULS technológia alkalmazási területei rendkívül sokrétűek: topográfiai térképezés, domborzatmodellezés, erdészeti és mezőgazdasági monitoring, bányászati és ipari felmérések, városi környezet modellezése, infrastruktúra-ellenőrzés, valamint katasztrófa-elhárítás és mentési műveletek. A drónos lézerszkennerek különösen

hasznosak olyan helyeken, ahol a hagyományos repülőgépes felmérés nem gazdaságos vagy nem kivitelezhető, illetve ahol a földi hozzáférés korlátozott vagy veszélyes.

Az ULS rendszerek további előnye a rugalmasság és a gyors bevethetőség: egy-egy mérés akár néhány óra alatt elvégezhető, és a drónok moduláris kialakítása lehetővé teszi különböző modulok vagy szenzorok gyors cseréjét a feladat igényei szerint. A GNSS/IMU integráció biztosítja a nagy pontosságú pozicionálást, míg a szoftveres feldolgozás lehetővé teszi az adatok gyors, akár terepi előnézetét és minőségellenőrzését is.

Fontos azonban megemlíteni az ULS technológia korlátait: a repülési időt az akkumulátorok kapacitása (jellemzően 20–60 perc) korlátozza, a lézerteljesítmény és a hatótáv alacsonyabb, mint a nagyobb ALS rendszereknél, a GNSS/IMU rendszerek pontossága pedig érzékeny a környezeti viszonyokra (pl. sűrű növényzet, városi „kanyonok"). A szellemképes pontfelhő kialakulásának kockázata is magasabb, ezért a mérések tervezése, végrehajtása és az adatok feldolgozása kiemelt szakmai odafigyelést igényel.

A drónos lézerszkennelés a modern geodéziai és térinformatikai adatgyűjtés egyik leginnovatívabb eszköze, amely a gyorsaság, részletgazdagság és költséghatékonyság mellett egyre szélesebb körű alkalmazási lehetőségeket kínál – a jövőben pedig várhatóan tovább bővül a technológia elérhetősége és teljesítménye. Ugyanakkor jelentősen korlátozza a drónhasználatot a szigorú szabályozás és a kötelező engedélyeztetési folyamat.

A technológia mérnöki gyakorlatban való alkalmazásánál célszerű figyelembe venni, hogy az ULS mérések adatmérete jellemzően több tíz–száz GB lehet egyetlen munkanap alatt. Ez a feldolgozás és archiválás során megfelelő informatikai infrastruktúrát igényel, amely a projektköltségekben is megjelenik. A költség–haszon oldaláról az ULS különösen előnyös közepes kiterjedésű (néhány tíz hektáros) területeken, ahol a földi mérések túl lassúak, a nagygépes légi szkennelés pedig túl költséges lenne. Például árvízvédelmi gátak, kisebb bányák, ipari területek részletes felmérésére kifejezetten gazdaságos.

3.6. Földi és mobil fotogrammetria

A földi fotogrammetria a háromdimenziós pontfelhők előállításának egyik legrégebbi, de folyamatosan fejlődő módszere, amely a különböző nézőpontokból készített képek geometriai elemzésén alapul. A modern földi fotogrammetria két fő technológiai irányzata közül a hagyományos, kalibrált mérőkamerás eljárás helyett már inkább a digitális képfeldolgozáson alapuló Structure from Motion (SfM) technológia népszerű, amely lehetővé teszi, hogy akár nem-metrikus, hétköznapi digitális fényképezőgépekkel vagy okostelefonokkal készített képekből is nagy sűrűségű pontfelhő készüljön.

Főbb lépések:

- Structure for Motion (SfM): Ez az algoritmus arra a feltételezésre épül, hogy egy mozgó fényképezőgéppel készítenek felvételeket egy mozdulatlan tárgyról. Az SfM algoritmust elsősorban a gépi látás céljára fejlesztették ki, de jól használható a fotogrammetriai feldolgozás automatizálására is.

- Ritka pontfelhő előállítása képekből vagy videóból SfM segítségével.

- Először kulcspontok keresése -> különböző képeken azonosnak tekinthető pontok -> képek egymáshoz viszonyított relatív elhelyezkedése.

- A képek tájékozása mellett a legalább két képen sikeresen azonosított kapcsolópontok 3D-s pozíciói is előállnak, ez a ritka pontfelhő

Az ISPRS és ASPRS szakmai ajánlásai szerint a földi fotogrammetria különösen alkalmas épülethomlokzatok, műemlékek, bányafalak, ipari létesítmények vagy akár jégárak dokumentálására. A pontfelhő pontossága szoros összefüggésben van a kamera kalibrációval, a képek számával, azok átfedésével (tipikusan 70–80%), valamint a terepi referenciapontok (GCP-k) minőségével és elhelyezésével. A nemzetközi tapasztalatok szerint a jól tervezett és kivitelezett földi fotogrammetriai felmérés milliméter pontosságot is elérhet, megfelelő kamera kalibrációval és kontrollált körülmények között. A fotogrammetriai pontosság elméleti alapjai a képszenzor pontosságából vezethetők le.

A mobil fotogrammetria (például kézi vagy járműre szerelt kamerák) előnye a gyors adatgyűjtés és a nehezen megközelíthető helyek feltérképezése. Az okostelefonos fotogrammetria területén jelentős fejlődés tapasztalható, ahol a modern készülékek nagy felbontású kameráik, fejlett AI algoritmusaik és AR keretrendszereik révén professzionális eredményeket képesek produkálni. A LiDAR szenzorral felszerelt eszközök még gyorsabb és pontosabb szkennelést tesznek lehetővé, bár egyelőre korlátozott felhasználási lehetőségekkel bírnak térképészeti vagy modellezési célú adatgyűjtés terén.

A földi és mobil fotogrammetria legnagyobb kihívása a geometriai torzulások, a pontfelhő sűrűségének és homogenitásának biztosítása, valamint a fényviszonyok és a felület textúrájának változása. A pontossági értékelés során a Root Mean Square Error (RMSE) és Mean Absolute Error (MAE) számítása feltétlenül szükséges.

A földi fotogrammetria alkalmazása különösen gazdaságos akkor, ha kisebb léptékű, részletgazdag dokumentációra van szükség, például műemlékek, ipari üzemrészek vagy

épülethomlokzatok esetében. Ilyenkor a hagyományos geodéziai mérés túl időigényes lenne, a légi megoldások pedig költségesebbek.

Adatméret szempontjából a földi és mobil fotogrammetria néhány GB-tól több tíz GB-ig terjedhet projekttől függően. A képek feldolgozása erős grafikus kártyát igényel, különösen nagy pontszámú képhalmaz esetén.

Tipikus hibaforrások:

- nem megfelelő fényviszonyok (pl. árnyék–napfény kontraszt),
- homogén textúrájú felületek (pl. üveg, fényes fém),
- elégtelen képátfedés.

Minőségbiztosítási szempontból a terepi alappontok (GCP) és ellenőrző pontok kulcsszerepet játszanak a modell pontosságának biztosításában. A mérnöki felelősség abban áll, hogy ezek tervezetten és dokumentáltan kerüljenek elhelyezésre.

3.7. Légi fotogrammetria

A repülőgépes fotogrammetria a nagy kiterjedésű területek, városrészek, mezőgazdasági vagy erdészeti területek, illetve infrastruktúrák gyors, nagyléptékű feltérképezésének alapvető eszköze, amely évtizedek óta meghatározó szerepet játszik a térképészeti, térinformatikai adatgyűjtésben. A módszer lényege, hogy egy repülőgépre szerelt, nagy felbontású, precízen kalibrált kamerával rendszerint előre megtervezett repülési útvonalak mentén, szabályos átfedéssel készítenek képeket.

Az ASPRS 2023-as frissített pontossági szabványai szerint a repülőgépes fotogrammetriai pontfelhő pontossága a repülési magasságtól, a kamera paramétereitől, a földi alappontok (GCP-k) minőségétől és a képfeldolgozás algoritmusaitól függ. A szabvány rugalmasabbá vált a földi alappontok és ellenőrző pontok pontossági követelményeinek tekintetében, mivel a korábbi négyszeresen jobb pontosságú alappontok követelménye a centiméteres pontosságú végtermékek esetében gyakorlatilag megvalósíthatatlan volt RTK módszerekkel.

A repülőgépes fotogrammetria feldolgozási folyamata több lépcsős: a képillesztéstől (image alignment) kezdve a sűrű pontfelhő generáláson (dense point cloud generation), a háromszöghálón (mesh generation) át az ortofotó és digitális domborzatmodell (DTM/DSM) előállításáig. A sugárnyaláb kiegyenlítés során a légiháromszögelés eredménye alapvetően meghatározza a végtermék pontosságát, ezért a megfelelő számú és eloszlású GCP alkalmazása kritikus fontosságú.

A nemzetközi ajánlások szerint a repülőgépes fotogrammetriai pontfelhő vízszintes pontossága tipikusan a Ground Sample Distance (GSD) 1-3-szorosával jellemezhető, míg a függőleges pontosság általában ennek 1,5-2-szerese. Nagy felbontású kamerákkal és sűrű GCP-hálózattal azonban néhány centiméteres pontosság is elérhető nagyléptékű alkalmazásokban.

A repülőgépes fotogrammetria különösen hatékony sík vagy enyhén dombos területeken, ahol a repülési magasság és a képátfedés könnyen optimalizálható. Összetettebb domborzat esetén (például hegyvidék, városi kanyonok) ajánlott a nadír (függőleges) és ferde (oblique) képek kombinálása, amely jelentősen javítja a pontfelhő geometriáját és csökkenti a szisztematikus torzulásokat. A multi-view stereo (MVS) technológia fejlődésével a hagyományos sztereofotogrammetriai módszereket felváltották a több képből történő rekonstrukciós eljárások.

A légköri viszonyok (szél, páratartalom, fényviszonyok) jelentős hatással vannak a végeredmény minőségére. A repülési engedélyek és a légtérhasználat szabályozása mellett a nagy adatmennyiség kezelése is komoly szakmai kihívást jelent. Az utófeldolgozás során a pontfelhő illesztése, szűrése, osztályozása és a GCP-khez való igazítása elengedhetetlen a végtermék pontosságának biztosításához.

A légi fotogrammetria költséghatékonysága nagy kiterjedésű (több tíz–száz km^2) területeken érvényesül leginkább, ahol a drónos megoldások kapacitása és hatótávja már korlátozó tényező. Nagy projektek esetén egy-egy felmérés adatmérete TB nagyságrendű lehet.

<u>Tipikus hibaforrások:</u>

- légköri hatások (páratartalom, pára, szél),
- repülési sávok torzulása nagy domborzatváltozás esetén,
- a földi alappontok hiánya vagy gyenge minősége.

A nemzetközi ajánlások szerint minden projektben szükséges független ellenőrző pontok alkalmazása. A mérnök felelőssége, hogy a kiértékelés során az RMS értékeket dokumentálja és az előírt szabványokhoz hasonlítsa.

3.7. Drónos fotogrammetria

A drónos (UAV/UAS) fotogrammetria az elmúlt években a kis- és közepes területek háromdimenziós feltérképezésének egyik legdinamikusabban fejlődő módszerévé vált, amely napjainkra a földmérési, építőipari, ipari és környezetvédelmi gyakorlat szerves

részévé nőtte ki magát. A technológia lényege, hogy egy pilóta nélküli légijárműre szerelt, nagy felbontású kamerával készített, jelentős átfedéssel készített légifelvételekből – korszerű Structure from Motion (SfM) és Multi-View Stereo (MVS) algoritmusok segítségével – nagy sűrűségű, részletgazdag pontfelhő állítható elő. A modern rendszerek minimum 14 megapixeles kamerákat, RTK vagy PPK GNSS pozicionálást, automatikus repüléstervezést és 70–80% hosszanti, valamint 60–70% oldalirányú képátfedést alkalmaznak, a repülési magasság jellemzően 40–120 méter között mozog, így akár 0.5–3 cm-es terepi felbontás (GSD) is elérhető.

A drónos fotogrammetria egyik legnagyobb előnye a gyors és rugalmas adatgyűjtés, amely lehetővé teszi veszélyes, nehezen megközelíthető vagy időérzékeny helyszínek biztonságos és részletgazdag felmérését. A pontfelhő vízszintes pontossága ideális körülmények között 1–5 cm, magassági pontossága 1,5–10 cm lehet, feltéve, hogy megfelelő földi illesztőpont-hálózat (GCP) és kalibrált kamera áll rendelkezésre. Az RTK/PPK technológiák jelentős előrelépést hoztak, hiszen pár centiméteres pontosságú helymeghatározást tesznek lehetővé, azonban a hagyományos GCP-alapú georeferálás továbbra is nélkülözhetetlen nagy pontosságú alkalmazásokban. A munkafolyamat magában foglalja a repüléstervezést, a képrögzítést, az SfM-MVS alapú feldolgozást és a georeferálást, a végtermék minősége pedig nagymértékben függ a repülés, a kamera beállítások és a feldolgozási paraméterek helyes megválasztásától. A drónos fotogrammetria alkalmazási területei rendkívül széleskörűek: topográfiai felmérés, építkezés-dokumentáció, infrastruktúra-ellenőrzés, bányászat, mezőgazdasági és erdészeti monitoring, valamint katasztrófa-elhárítás egyaránt profitál a technológia gyorsaságából és részletgazdagságából.

A repülési időt az akkumulátor-kapacitás (20–120 perc), a környezeti viszonyok (szél, csapadék, köd) és a GNSS lefedettség korlátozza, a felvételek minőségét pedig a fényviszonyok, a növényzet mozgása és a textúra nélküli felületek is befolyásolhatják. A végtermék minőségének biztosításához elengedhetetlen a gondos tervezés, a független geodéziai ellenőrzés, valamint a megfelelő minőségbiztosítás. A drónos fotogrammetria csak megfelelő szakmai felkészültséggel, gondos előkészítéssel és szigorú odafigyeléssel garantálhatja a kívánt pontosságot és megbízhatóságot. A technológia gyors fejlődése ellenére a geodéziai alapelvek, a földi illesztőpontok helyes használata és a szakmai felelősség továbbra is a sikeres alkalmazás alapját képezik.

A drónos fotogrammetria előnye a rugalmasság: egy mérnöki iroda számára lehetővé teszi kisebb projektek önálló, gyors elvégzését, bérmunka igénybevétele nélkül. A repülési idő és a pontosság közötti kompromisszum kulcskérdés: alacsonyabb repülés → nagyobb pontosság, de kevesebb terület.

Adatméret tekintetében egy-egy 50–100 hektáros terület felmérése 20–50 GB képet eredményezhet. Az adatok feldolgozása több órát vesz igénybe, és nagy számítási kapacitást igényel.

Tipikus hibaforrások:

- GNSS jelgyengülés,
- homogén felszínek (pl. mezőgazdasági táblák),
- túl erős szél, amely elrontja a repülési útvonalat és a képátfedést.

A GCP-k és a független ellenőrző mérések itt is kulcsszerepet játszanak. A mérnöki felelősség biztosítja, hogy a gyors és látványos eredmények mögött valós, megbízható adatok álljanak.

Összefoglaló táblázat

Technológia	Pontosság (vízszintes/ magassági)	Adatméret / nap	Repülési idő	Költségszint	Tipikus felhasználás
Statikus lézerszkennerek	2–5 mm/ 5–10 mm	50–200 GB	-	magas	építkezés-dokumentáció, infrastruktúra, monitoring
Mobil lézerszkennerek	1–3 cm/ 2–5 cm	0,5–2 TB	-	magas	infrastrukturális létesítmények
Légi lézerszkennerek (repülő)	5–20 cm/ 10–30 cm	0,5–2 TB	-	magas	nagy területek, utak, mezőgazdaság
SLAM lézerszkennerek	1–3 cm/ 2–5 cm	50–200 GB	-	közepes	gátak, ipari területek, bányák
Drónos lézerszkennerek	1–3 cm/ 2–5 cm	50–200 GB	20–60 perc	közepes	gátak, ipari területek, bányák
Földi/mobil fotogrammetria	2–5 mm/ 5–10 mm	5–50 GB	–	alacsony	műemlékek, homlokzatok, ipari csarnokok
Légi fotogrammetria (repülő)	5–20 cm/ 10–30 cm	0,5–2 TB	több óra	magas	nagy területek, utak, mezőgazdaság
Drónos fotogrammetria	1–5 cm/ 1,5–10 cm	20–50 GB	20–120 perc	alacsony–közepes	építkezés-dokumentáció, infrastruktúra, monitoring

4. A megrendelővel tisztázandó kérdések

Noha, ahogy arról a korábbiakban szóltunk, a 3D-pontfelhőre már nem lenne szabad újdonságként tekinteni, sajnos az a tapasztalat, hogy a megrendelő és a szolgáltató nem beszél közös nyelvet sem a szakmán belül, sem azon kívül.

Sok esetben vezet feszültséghez a meg nem értés, melynek feloldására jelen anyag mellékleteként létrehoztunk egy szakszótárt, Kifejezéstár címmel.

Lássuk, mik azok a fogalmak, amiket a 3D-pontfelhő szolgáltatása kapcsán mindenképpen tisztázni kell! A következő fejezet a gyakorlatban megjelenő, a megrendelői oldalt is érintő kérdések összefoglalója.

4.1 A pontfelhő nem modell!

Sokan előszeretettel hivatkoznak a pontfelhőre 3D-modellként a piacon. Mivel általában a pontfelhő nem eredménytermék, hanem a feldolgozási munkafolyamat bemeneti adata, így talán az az első és legfontosabb tisztázandó kérdés, hogy a megrendelőnek tényleg csak a pontfelhőre van-e szüksége, vagy egy abból, adott tematika szerint kiértékelt műszaki információcsomagra. A teljesség igénye nélkül ez utóbbi lehet 3D vektorrajz (tervezési alaptérkép, megvalósulási térkép, felsővezeték kiértékelés, homlokzatrajz, stb.), térháló, szilárdtest modell, objektum- vagy hibakataszter, terület- vagy térfogatszámítás, stb.

4.2 Ha 3D-modell, akkor pontosan melyik?

Ha már az előző pontban a modell szót említettük, érdemes mindjárt közösen definiálnunk azt is a megrendelővel. Itt ugyanis beszélhetünk az un. mesh-ről, azaz térhálóról, mely a pontfelhő pontjai közé (vagy azok felhasználásával a kívánt méretben) automatikusan generált háromszögekből alkot felszínmodellt és igyekszik a lehető legjobban leírni a felmérendő objektumot. Ugyanakkor lehetőség van az un. szilárdtest modellezésre is. Ez esetben helyettesítő (vagy előre definiált objektumkönyvtárból származó) objektumokkal írjuk le a pontfelhőben megjelenő tárgyat. Pl.: a falakat síkokkal, az oszlopokat, csöveket hengerekkel, stb. Nem kérdés, hogy pl. ez utóbbi elkészítése jóval idő,- és költségigényesebb feladat szolgáltatói oldalon, mint csak a pontfelhő leszállítása a megrendelő felé.

4.3 Georeferált pontfelhő?

Ennek a kérdésnek a tisztázása különösen a geoinformatikai szakmán kívülről érkező megrendelői igények esetében releváns. Az abszolút értelemben regisztrált 3D-pontfelhő elkészítése mind a terepen (alapponthálózat létesítése, illesztőpontok kihelyezése,

bemérése, stb.), mind az irodai feldolgozásban (abszolút illesztés) további feladatokat ró a készítőre, szolgáltatókra. Ezen felül egy georeferált pontfelhőből származtatott minden további eredménytermék is georeferált lesz, így az ezekkel kapcsolatos megrendelői igényeket is a bekezdés címére kell visszavezetnünk.

4.4 Intenzitás és RGB színezésű pontfelhő?

Általában 3D-szkenneléssel előállított pontfelhő esetében az észlelési folyamat részeként lehetőség van digitális fényképek készítésre is. Az ezekből származó színinformációkkal fotorealisztikus, un. RGB színes pontfelhők állíthatók elő. Mindenképpen érdemes tisztázni a megrendelővel, hogy szüksége van-e valódi színes pontfelhőre, vagy elégséges-e számára az intenzitás színezés.

Amennyiben az RGB pontfelhő mellett dönt, igényli-e ahhoz speciális, nagy felbontású felvételek használatát? A fényképezés ugyanis terepen megnöveli az egy állásponton eltöltött időt, egyes eszközöknél kiegészítő hardver használatát igényli, illetve mind mobil, mind statikus szkennelésnél, a legtöbb típus esetében drasztikusan megnöveli a feldolgozási időt is. Állószkenner használatakor a fényképezési idő nagyban függ az alkalmazott szkenner típusától, de egy percnyi plusz időráfordítás hatvan álláspont esetében is már eléri az egy órányi többlet ráfordítást.

4.5 A 'milliméter pontos' pontfelhő

Számtalan műszer marketing anyagban, vagy szolgáltatói hirdetésben futhatunk bele ebbe a hatásvadász szalagcímbe. Különösen elgondolkodtató ezt légi fotogrammetriával, -szkenneléssel, vagy éppen kézi mobil térképező rendszerekkel közös relációban olvasni.

Sajnos, az ilyen reklámok következményeként, a témában kevésbé jártas megrendelők, pályázatkiírók is hajlamosak ilyen "szakmai igényeket" támasztani.

A jelen anyag tárgyát ugyan nem képezi olyan fogalmak, mint a pontosság - megbízhatóság fogalmának, illetve a hibaterjedés jelenségének mélyebb kifejtése, de a 6. fejezetben összefoglalt relatív, valamint abszolút illesztés folyamatának értelmezését követően az olvasóban is jogosan merülhet fel a kétely egy geodéziai célokra szánt pontfelhő fenti jellemzésének valóságtartalma kapcsán.

Vajon a hirdető a pontfelhő mely paraméterét jellemzi ezzel a kifejezéssel? A szórását? A relatív illesztés, vagy éppen a georeferálás teljes munkaterületre vonatkozó maradék ellentmondásait? Az egyes diszkrét pontok abszolút, 3D helyzetét a pontfelhőben?

Nagyon fontos már egy projekt megkezdése előtt tisztázni ezeket a kérdéseket, mert noha a szkennelésnek megvannak azok a speciális ágai, ahol ez, sőt ennél nagyobb pontossági

igény is kiszolgálható, ám azok nem a geodéziai, nagyméretarányú térképészeti, térinformatikai adatgyűjtés célú ágazatok.

5. A megfelelő szkenner kiválasztása

A hazai földmérési gyakorlatban a kollégák nagyon sokféle feladattal találkozhatnak, amelyekhez a manapság elérhető lézerszkennerek és az általuk előállított pontfelhők nagymértékben hozzájárulhatnak. Nem minden szkenner alkalmas minden feladat elvégzésére, és sokszor a kollégák nem férnek hozzá azokhoz az információkhoz, amelyek alapján a legjobb eszközt választhatják ki egy feladat elvégzéséhez.

Egy mérnöki szemlélettel rendelkező földmérő szakember pl. nem állandósít hálózatos RTK GNSS vevővel, három epochás észleléssel alappontot, vagy nem tűz ki pillért RTK-val foghíjbeépítésnél. Ugyanakkor ezt a műholdas pozícionálási technológiát kiválóan és hatékonyan tudja alkalmazni topográfiai raszterezéskor, vagy éppen nyíltárkos bemérésben.

Ahogyan a felhasználóknak a hagyományos geodéziai megoldások alkalmazásakor is tisztában kell lenniük a rögzítendő részletpontok rendűségéhez rendelt pontossági mérőszámokkal, a szkenner használat esetén is ismerniük kell, mely eszközzel állítható elő olyan 3D-pontfelhő, amiből pl. tervezési vagy megvalósulási alaptérképi tartalom származtatható. Persze, ugyanez igaz a felsővezeték nyomvonal, kubatúra számítási célú depónia mérés, vagy éppen objektum kataszterhez szükséges adatgyűjtés, pontossági előírásaira is. Nem lehet elégszer ismételni, hogy az eredménytermék pontossági igénye határozza meg a felhasznált technológiát és ennek fényében, “mindent arra kell használni, amire való”.

A földmérő mérnök felelőssége, hogy a számtalan, fent is bemutatott, piacon elérhető mérőrendszer közül azt válassza ki, mellyel az adott feladatot etikusan, a leghatékonyabban és a pontossági elvárásoknak leginkább megfelelő minőségben el tudja végezni.

<u>A feladatra megfelelő szkenner kiválasztásához három fő aspektust szükséges megvizsgálnunk:</u>

- A projekt specifikációit
- A pontfelhő tulajdonságait
- Az elkészült pontfelhő pontossági mérőszámait

A projekt specifikációjának függvényében az alábbi dolgokat érdemes figyelembe vennünk:

- Munkaterület mérete, alakja

A munkaterület mérete alapvetően befolyásolja, milyen eszközt válasszunk. Ha csak kis területről vagy egy ipari csarnokról van szó, akkor feltehetően TLS vagy SLAM szkennerrel is le tudjuk fedni a területet (a projekt további specifikációjának függvényében), azonban, ha a terület több utcányi vagy több háztömbnyi, esetleg egy egész településre kiterjed, az MLS vagy drón alkalmazása költséghatékonyabb lehet. Ezeknél is nagyobb volumenű, járás vagy megye szintű felmérésnél pedig már az ALS használata is indokolt lehet, amennyiben az az által szolgáltatott minőség elegendő.

- Kültéri vagy beltéri használat

A munkaterület mérete fontos szempont, ahogy az is, hogy a terület beltéri vagy kültéri. Általános esetben elmondható, hogy MLS, ULS vagy ALS technológiát nem használunk beltérben, egyes kivételes esetektől eltekintve, de a beltéri felmérés esetén is figyelembe kell vegyük a fizikai korlátokat, mivel lehet, hogy TLS műszer műszerlábbal együtt egyszerűen nem fér el a célterületen vagy a vele való mozgás nem biztonságos.

- Abszolút és relatív pontossági igény

Bár ezt a kérdést más aspektusból is vizsgáljuk alább, érdemes a méréstervezéskor is végig gondolni, mi az ügyfél igény ezeken a területeken. Természetesen a mérés végrehajtásakor erre alapvetően befolyással rendelkezünk, de ha az ügyfél nagy pontosságú mozgásvizsgálattal bízott meg bennünket, a szkennerek nagy százaléka egyből kiesik a képből, így a választást ez is befolyásolja.

- Pontsűrűség, felbontás

A hazai gyakorlatban nem olyan elterjedt, hogy ezt a paramétert ténylegesen számszerűsítik, de lehet találkozni olyan meghatározásokkal, hogy a szkennelési ponttól/tengelytől X méter távolságban egy négyzetméteren minimum hány pont legyen. Természetesen a méréskor is hatást tudunk erre a paraméterre gyakorolni, de mindenképp vegyük figyelembe az ügyfél igényeit hiszen, ha az ügyfélnek a ritkább pontfelhő is megfelelő, feleslegesen égetjük az időnket terepen a sűrűbb felhő mérésével. A lézerpontok egymáshoz viszonyított távolságát, a felbontást is ezzel tudjuk finom hangolni. A gyártók jellemzően ezeket a paramétereket a műszerhez tartozó specifikációban megadják.

- Költségek

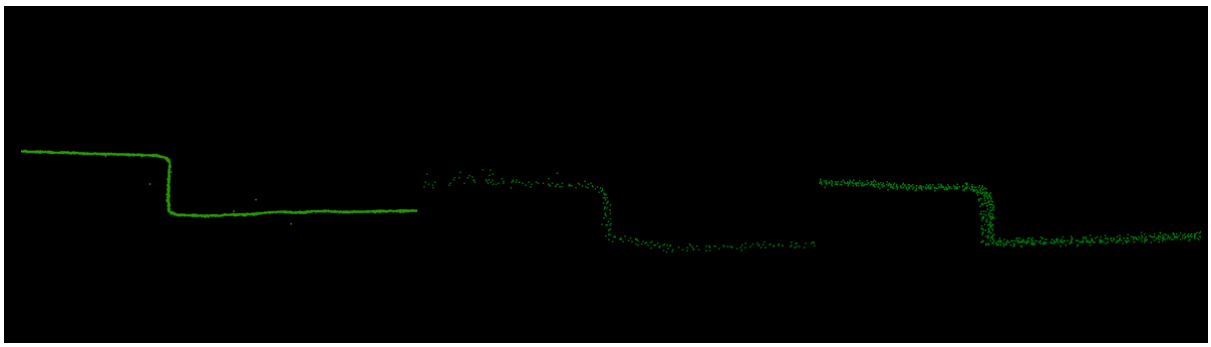
Természetesen az ilyen felmérésnél a költségek optimalizálása is gyakran szerepet játszik. Ha egy nagyobb projekthez ilyen eszközt kell beszerezni, akkor a mérnöknek alaposan körbe kell járnia a kérdést, hiszen rengeteg szkenner érhető el a piacon a pár millióstól a sok tízmilliós kategóriáig. Fontos azonban kiemelni, hogy attól, hogy egy feladatot szkennerrel kell elvégezzük, ez nem feltétlen jelenti azt, hogy vásárolnunk kell egyet. Manapság rengeteg szolgáltató biztosít bérlési lehetőséget, amely költségek terén jóval barátibb - különösen, ha csak egy projekthez van szükség a műszerre - mint a beszerzés. Érdemes tehát alaposan körbe nézni, és megvizsgálni minden lehetőséget.

<u>A pontfelhők tulajdonságai kapcsán az alábbiakat szükséges vizsgálnunk:</u>

- A pontfelhő vastagsága

A pontfelhő vastagsága (vagy egy adott felületen értelmezett szórása) alatt leggyakrabban azt értjük, amikor a pontfelhő vizuális ellenőrzés során ugyan nem szellemképes (lásd 8.3.1-es fejezet) viszont a függőleges vagy vízszintes felületek "vastagok", látható, hogy az átfedő álláspontok vagy elhaladások illesztése nem tökéletes, vagy a műszer nem egy, az ideálisként elvárt síkban képezi le a pontokat.

A felhasználóknak tisztában kell lennie azzal, hogy a pontfelhő vastagsága annak mértékéig bizonyosan befolyásolja a kiértékelt végtermék pontosságát, hiszen nem tudhatjuk, hogy az általunk látott sávon belül hol található a valós pozíció.



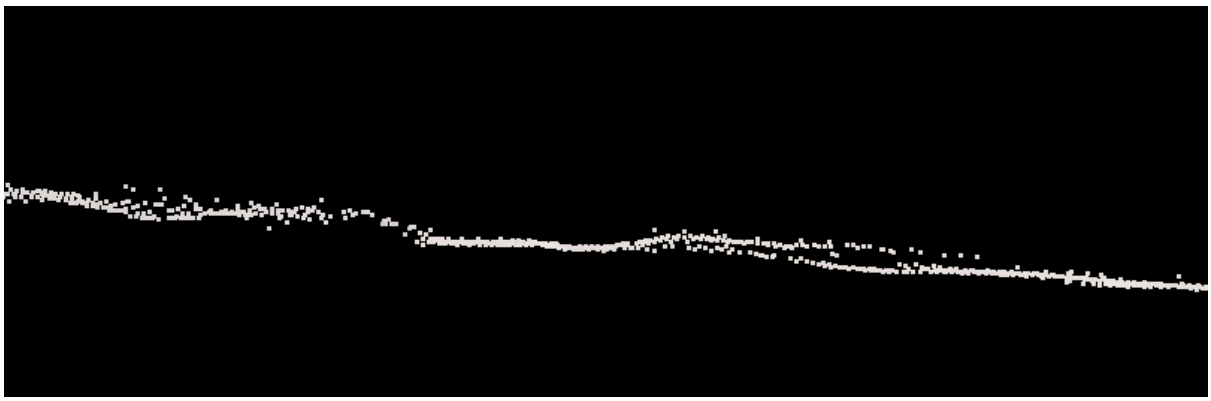
3. ábra Különböző vastagságú pontfelhők metszetei.

- A pontfelhő torzulásai

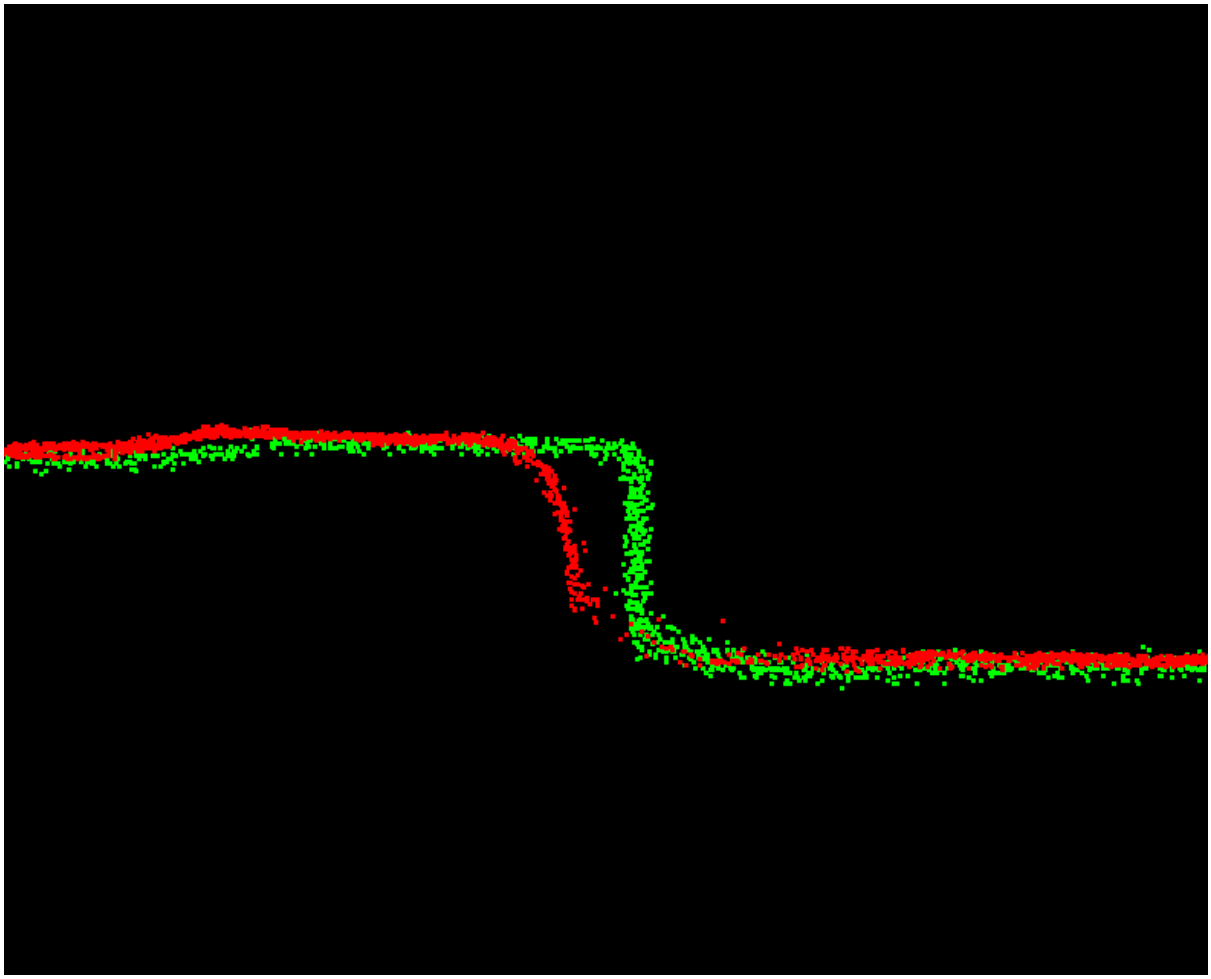
A pontfelhők előállításának sok eszköze létezik, és ezek különböző módon képesek értelmezni egy diszkrét mérést és a teljes adatcsomag feldolgozására is számtalan megoldás létezik. Ebből kifolyólag a felhasználónak a feladat elvégzése előtt meg kell ismernie a használt mérőrendszer várható torzításait.

Ilyen például, hogy fotogrammetriai pontfelhő esetén az útfelület a legritkább esetben mutat olyan sík felületet, amilyen az a valóságban lenne. Gyakran előforduló nehézség az is, hogy SLAM rendszerek a szkennelési tengelytől való távolság növekedésével torzítják a pontfelhőt, és a szegélyek már nem a megszokott szögletes formát mutatják a pontfelhőben, hanem egy sokkal íveltebb, generalizáltabb alakzatot. TLS és MLS rendszereknél pedig gyakran torzult pontfelhőt láthatunk reflektív közlekedési táblák esetén.

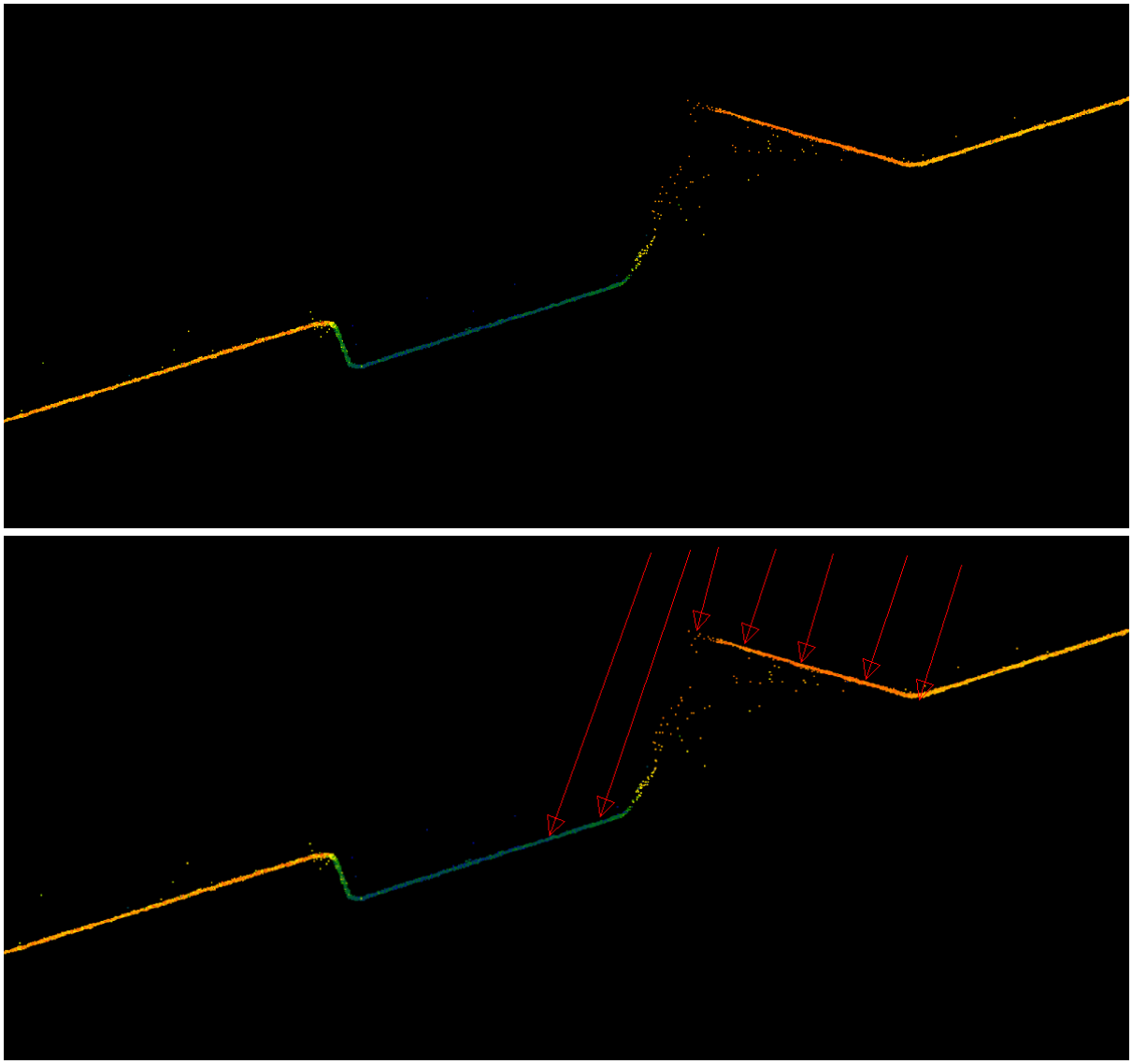
Érdemes tehát előre tisztázni, hogy a használt rendszer okoz-e olyan torzulást, amely esetleg pontatlan végterméket eredményez, és ha igen, akkor alkalmas-e a kívánt feladat elvégzésére. Egy vektoros kiértékelés esetében egy tapasztalt operátor képes lehet ezeket a hibákat áthidalni, de ha az ügyfél a pontfelhőt is használni szeretné, akkor már más lehet a helyzet. Itt ismételten felhívjuk a figyelmet a megfelelő szaktudás fontosságára, hiszen egy tapasztalt mérnök sok hibát ki tud küszöbölni pusztán a tapasztalatára és a szaktudására támaszkodva.



4. ábra Fotogrammetriai pontfelhő egy sík hídtáblán.



5. ábra TLS szkenner (zöld) és SLAM szkenner (piros) egymáson - megfigyelhető az élek lekerekítése.



6. ábra A pont túlfutás, ahol a megfelelő szögben érkező lézersugarak nem a valós alakzatot hozzák létre, hanem a lézer irányából "meghosszabbítják" az alakzatot.

- A pontfelhő intenzitása és egyéb attribútumai

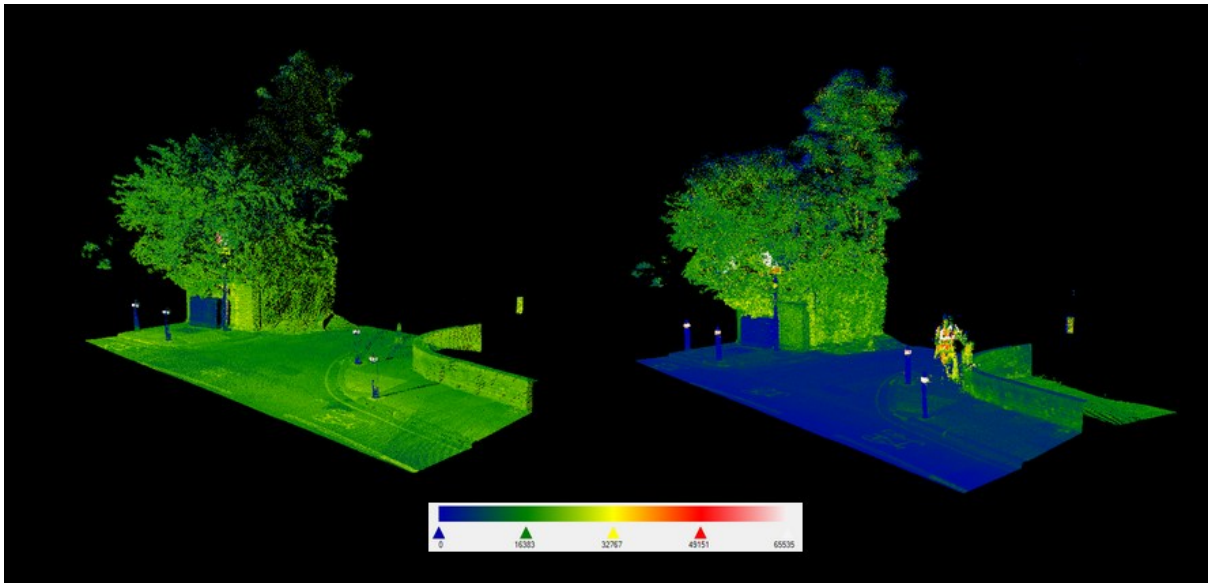
Bár a pontfelhőket különböző fájlformátumokban tudjuk tárolni, a legtöbb ilyen közös tulajdonsága, hogy nem csupán a pontok XYZ koordinátáját tárolja, de egyéb adatokat is, mint intenzitás, vagy RGB kódok (szín információ, mely alapján a pontfelhő a valós színek szerint színezhető), illetve egyéb kiegészítő információkat is.

A legfontosabb ilyen tulajdonság, amelyet vizsgálnunk érdemes, az az intenzitás. Az intenzitás az egy lézer impulzusból visszavert jel erősségét mutatja, jellemzően 8 bit (256 érték) vagy 16 bit (65.536 érték) értékkészleten belül, és ezek az értékek egy színskála használatával vizualizálhatók. Mivel a különböző színű és anyagú objektumok más-más intenzitással verik vissza a lézer jelet, így az intenzitás különösen jól használható a kiértékelések során. Ezt az információt a fotogrammetriai pontfelhők nem tartalmazzák.

Az intenzitás nagyon jól használható például burkolati jelek, különböző anyagú vagy színű burkolatok, és egyéb objektum felismerésére, azonban az intenzitás értéke jelentősen változhat a szkennerek típusa és fajtája szerint. Egy kisebb lézerszkenner - fizikai méretbeli korlátai miatt - nem feltétlenül a számunkra szükséges erősségű. A visszavert lézerjel detektálás érzékenysége, ami lehetővé teszi, hogy a szkennelési tengelytől 10-15-20 méterre lévő elemeket kiértékeljünk, mivel az intenzitás annyira gyenge, hogy az eszerinti színezett pontfelhőben ezek nem elkülöníthetőek. Ugyancsak limitációt jelenthet, hogy ha a létrejött pontfelhő intenzitás tartománya csak 8 bites. Érdemes tesztelni a használni kívánt eszközt, ha az intenzitásra szeretnénk építeni, hiszen, ha ez a paraméter túl gyenge, ellehetetlenül a kiértékelés.

A lézerszkennelt pontfelhőkben az intenzitásadatok vizualizálásánál gyakran előfordul, hogy az automatikus színezés nem hozza elő a fontos részleteket: például egy útburkolati aknafedél légi felméréseknél gyakran beleolvad a környezetébe. Ilyenkor a hisztogram nyújtásával – vagyis az intenzitásértékek dinamikus tartományának kiterjesztésével – és a skála szélsőértékeinek módosításával az aknafedél pontosan és jól elkülönül, így a korábban láthatatlan objektumok is egyértelműen láthatóvá válnak.

Az intenzitás mellett nagyon gyakori az RGB, vagy valós színes színezés a kiértékelések kapcsán, és az ügyfelek is sokszor igénylik ezeket a pontfelhőket, hiszen a laikusok számára ez a pontfelhő termék a leghasznosabb demonstrációs célokra. Fontos azonban kitapasztalni a szkennerek színezési megoldásait, hiszen ez is alkalmatlanná tehet egy szkennert egy adott feladatra. A szkennerek, vagy hozzájuk társított kamerák képességei jelentősen eltérhetnek, és ez tönkre is teheti a mérésünket. Ha a kamera képe nem éles, nem megfelelőek a fényviszonyok, a kamera nem rögzít kellően élénk képet, vagy csak az utófeldolgozó szoftver nem képes megfelelően alkalmazni a képeket, a kapott eredmény alkalmatlan lehet a prezentálásra. Átfedő területeken a nem megfelelő számú, vagy minőségű kép foltos, elmosódott színű pontfelhőhöz vezethet, mellyel nehezebb elvégezni a kiértékelést, vagy az ügyfél esetlegesen nem fogadja el a terméket. Érdemes tehát előre tájékozódni a használni kívánt rendszer képességeiről.



7. ábra Intenzitás különbség két különböző szkennerből - a bal oldalon egy MLS (erősebb) míg a jobb oldalon egy magasabb kategóriás SLAM (gyengébb) szkenner intenzitásait láthatjuk.

8. ábra Elégtelen színezés, elmosódás egy magasabb kategóriás SLAM szkennerből.

Az elkészült pontfelhők pontossága kapcsán az alábbi szempontokat érdemes figyelni:

- Relatív pontosságot befolyásoló tényezők

A pontfelhő relatív illesztése alatt a különböző álláspontok vagy elhaladások egymáshoz való illesztését értjük. Ezt a műveletet az utófeldolgozó szoftverek végzik, azonban nem minden szoftver végzi ezt a műveletet azonos matematikai elvek alapján, nem minden rendszer ad mélyreható jelentést a relatív illesztésről, és nem minden rendszer képes minden relatív ellentmondást kiküszöbölni.

A relatív pontosság nagy általánosságban TLS, MLS és SLAM eszközök esetén az álláspontól vagy szkennelési tengelytől távolabb a távolsággal arányosan romlik, mivel a sűrűbb pontfelhő részen a szoftverek könnyebben találnak síkokat vagy kapcsoló pontokat, melyek alapján a felhőket összehúzzák, azonban a távolság növekedésével jellemző lehet a felhők egymáshoz képesti "szétnyílása" vagy elcsavarodása is. Ez természetesen sok összetevős matematikai feladvány, azonban arra mindenképp érdemes figyelni, hogy a használt rendszer a célterületen belül jól illeszthető legyen önmagához.

Egy gyakran előforduló példa, hogy egy 150 méteres hatótávval rendelkező szkenner esetében bár a tengelyhez közel jó az illesztés, 50 méteren vagy felette már felléphet szellemképesedés, vagy elcsúszás, elcsavarodás. Ebben a példában 50 métert írtunk, de rossz körülmények esetében 20-30 méteres távolság is elég ahhoz, hogy a relatív illesztés hibája hátráltassa a kiértékelésünket.

Amikor eszközt választunk egy feladatra, győződjünk meg róla, hogy az eszköz illesztési képessége megfelelő a szükséges kiértékelés elvégzésére. Részletes kifejtést a következő fejezetben olvashatunk a témában.

A relatív hibák kategóriájába sorolhatjuk az eszközök távmérési pontatlanságából eredő hibát is, hiszen, ha egy eszköz 1 méteren 5 mm-t téved, akkor egy foghíjtelek két határoló tűzfalának távolságában már akár 10 cm-es hibát is elkövet, vagy egy híd/alagút szabad űrszelvényének meghatározásában 2-3 cm-t. Ráadásul ez méretarányhibaként jelentkezik, illesztőpontok, vagy nagyságrenddel jobb pontosságú eszköz adataival történő összedolgozás, vagy ellenőrzés nélkül rejtve maradhat.

- Abszolút pontosságot befolyásoló tényezők

Az abszolút illesztés során a helyi vagy projekt rendszerben összeállított álláspontokon, vagy útvonalak mentén létrehozott pontfelhőt helyezzük el az abszolút rendszerben, a

vetületben. Ezt a leggyakrabban illesztőpontok segítségével tehetjük meg, melyek vagy direkt erre a célra kihelyezett - előre gyártott vagy egyéb földmérési - pontjelek, vagy a terepen jól azonosítható, sarkos, több sík által egyértelműen határolt pontfelhő-terep azonos pontok, melyeknek geodéziai módszerrel koordinátát mérünk. Ezen pontok felhasználásával transzformáljuk rá a pontfelhőt a vetületi síkra. Az abszolút rendszerbe történő illesztést általában minden gyári előfeldolgozó szoftver támogatja. Amennyiben ez mégsem lenne így, abban az esetben az eszközt nem javasoljuk földmérési feladatok elvégzésére, még akkor sem, ha a felhasználó képes egyéb szoftverek segítségével a helyére transzformálni az eredményt.

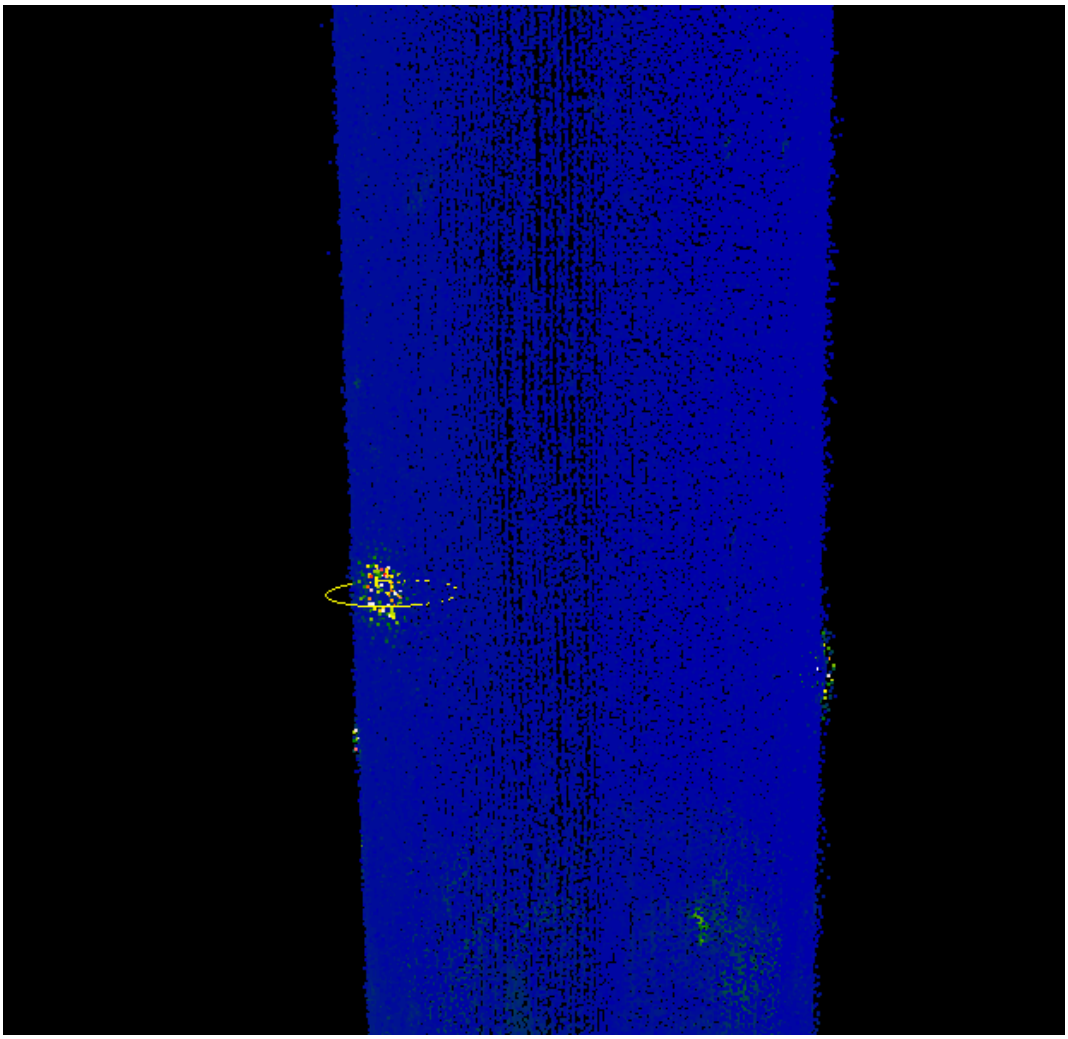
Ahogy a korábbi fejezetekben is említettük, léteznek olyan műszerek, melyek külső, vagy integrált RTK GNSS vevőik segítségével valós időben képesek terepen meghatározni saját álláspontjuk pozícióját.

Ugyanakkor terepen történő abszolút illesztés még nem olyan nagy mértékben elterjedt, mint az utófeldolgozásos megoldások. Ennek oka egyrészt napjainkban az ionoszféra állapot RTK GNSS észlelésre gyakorolt hatása, mely miatt mindenképpen kiegyenlített kerethálózatra kell támaszkodni a georeferáláskor. Másrészt a pontfelhő pontok transzformációja nagyon hardver-igényes művelet és a terepi eszköz használhatóságát jelentősen befolyásolhatja, ha a háttérben az eszköz folyamatosan számításokat végez.

Egyes rendszerek nem csak pontokat, de síkokat vagy gömböket is fel tudnak használni ilyen illesztésre, de tapasztalataink szerint ezek gyakran gyártó specifikus megoldások, azonban általánosságban elmondható, hogy a gömb vagy sík illesztés gyakran jobb eredményt garantálhat, mint az egy diszkrét pontra történő illesztés.

Az illesztőpontok mérésének végrehajtását kiemelt figyelemmel hajtsuk végre, minden szakmai ajánlást vagy szabályt betartva. A korábban relatív értelemben összeillesztett pontfelhőnk a relatív illesztés hibáját (legyen az akármilyen kicsi) már hordozza. Az abszolút illesztés során elkövetett hibák pedig tovább ronthatják ezt a pontosságot. Akármilyen pontosan is értékelünk ki például egy tervezési térképet a pontfelhőről, akármennyire is a helyén van a vonal a pontfelhőhöz képest, ha a pontfelhő nincs megfelelően a vetületi tényleges helyére transzformálva, sajnos a mérésünk mindenképp hibával terhelt. Ráadásul az abszolút hiba gyakran rejtőzködő hiba. A megrendelőnek megmutathatjuk, hogy a kiértékelésünk pontos a pontfelhőhöz képest, azonban az ügyfél ellenőrző mérés nélkül nem tudja megállapítani, hogy a pontfelhő tényleg a helyén van-e, ezért amikor illesztő pontokat mérünk egy pontfelhő abszolút illesztéséhez, mindenképpen mérjünk további kontroll pontokat (melyeket nem vonunk bele a kiegyenlítésbe) és pár pontfelhő-terep azonos részletpontot (akna fedlap sarka, felfestés sarka, stb), melyekkel igazolhatjuk a pontfelhő abszolút pontosságát az ügyfél felé.

A terepi mérésen kívül az illesztő pontok pontfelhőn történő megjelölése is kifejezetten fontos, itt ugyanis a pontatlan jelölés akár centimétereket is jelenthet a részletpontok pontosságát tekintve. Mindig olyan helyen mérjünk illesztő pontokat, ahol tudjuk, hogy a pontfelhő sűrű lesz, így biztosak lehetünk benne, hogy utófeldolgozás során is jól tudjuk majd megjelölni a pontot. Ritka pontfelhő esetében, ha van is illesztő pontunk, azt inkább csak ellenőrzésre használjuk, ne kockáztassuk meg a gyenge pontfelhőn történő illesztőpont jelölést, mert itt a legnagyobb az esélyünk hibát elkövetni.



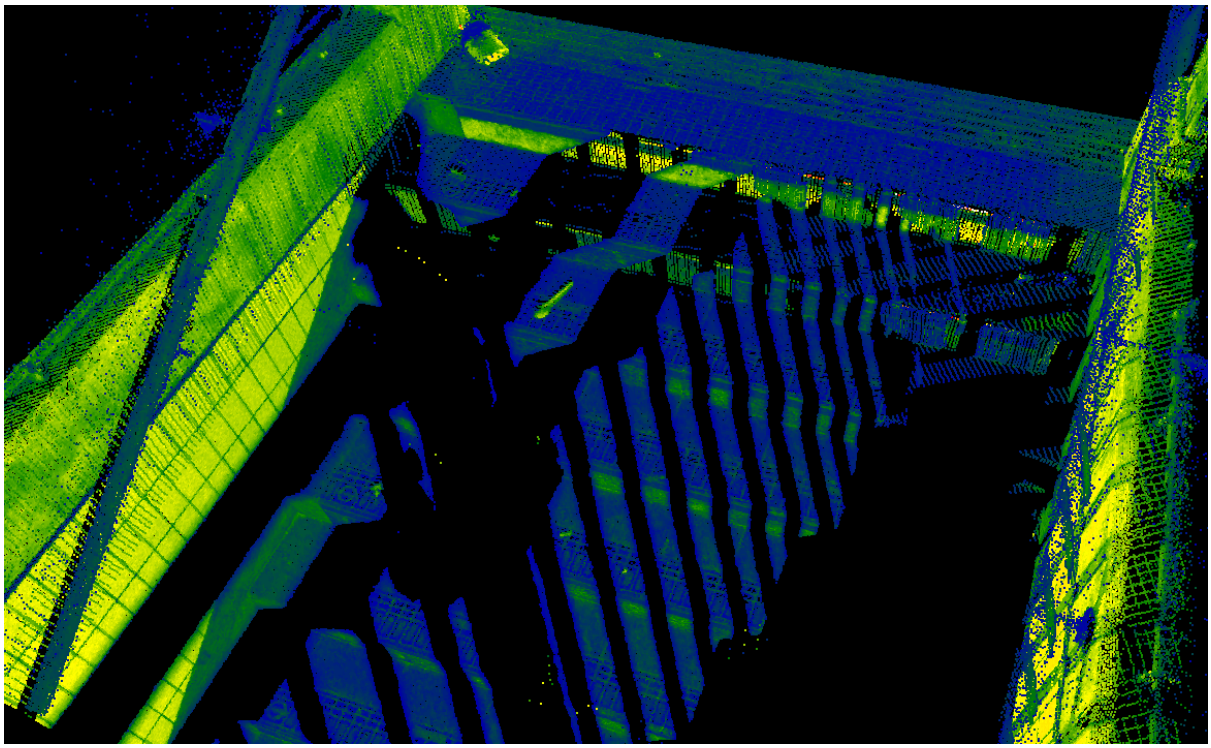
9. ábra Reflektív fólián lévő, mérőállomással meghatározott kontroll pont.

- A kiértékelés pontossága

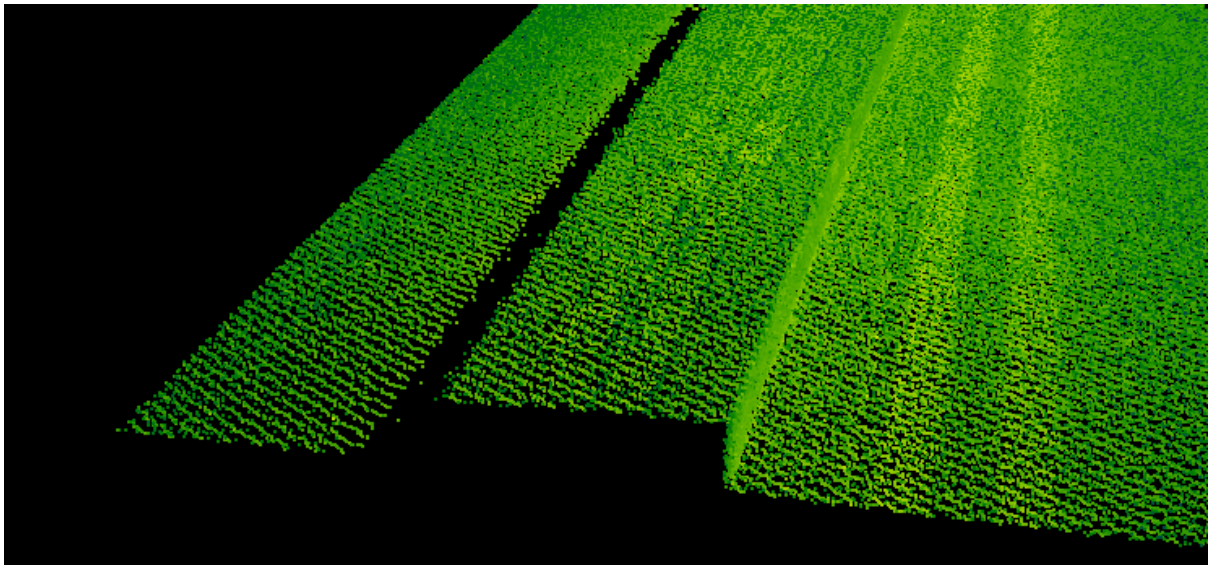
A pontosság tekintetében egy harmadik szempontot is érdemes figyelembe venni, és ez is befolyásolja a megfelelő szkenner kiválasztását, nevezetesen, hogy a számunkra szükséges végtermék kiértékelése vagy elkészítési mennyire lehetséges az adott eszközzel. Ha például térfogatot szeretnénk számolni, egy gyengébb felbontású, zajosabb,

abszolút mértékben rosszabb pontosságú pontfelhő is elegendő lehet a megfelelő eredmény elkészítéséhez, azonban, ha a járdán szeretnénk a kisebb elzárókat kiértékelni, egy mobil szkenneres adat is esetenként kevés lehet.

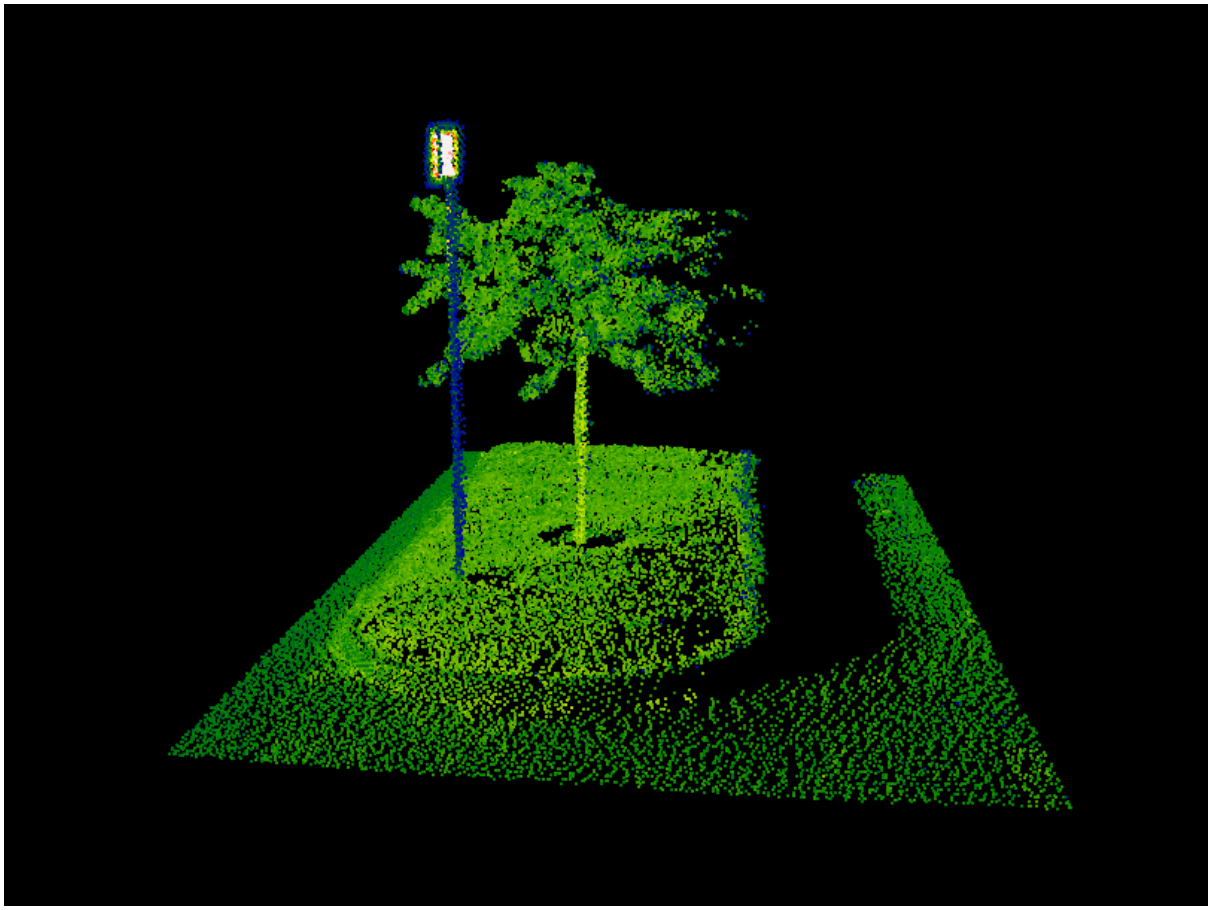
A relatív és abszolút illesztés pontossága már a kiértékelés kezdetén terheli az eredményeinket, azonban, ha a kiértékelés során például interpolálást végzünk a gyenge pontfelhő miatt, tovább ronthatjuk a "részletpontok" pontosságát. Azokon a helyeken, ahol nincs pontfelhőnk, természetesen interpolálhatjuk a magasságot vagy a pozíciót, de ezt minden esetben a szakmai elveknek megfelelően, a kellő körültekintéssel tegyük. Ehhez kapcsolódóan az alábbi példákkal kívánjuk szemléltetni ezeket a helyzeteket:



10. ábra Hiányos aluljáró pontfelhő - ebben a helyzetben a lépcsők végpontjait nem láthatjuk tisztán azonban nagy bizonyossággal interpolálhatunk. A fal megadja azt az egyenest, ami a lépcsők végét jelenti, felülnézetből meghúzhatjuk a lépcsők alsó és felső élét.



11. ábra Egy oldalról szkennelt járdasziget - Ebben az esetben szintén megrajzolhatjuk felülnézetből a szegély mindkét oldalát, és a nem szkennelt oldalon a magasság aszfalt szintre állításával interpolálhatjuk a szegély alsó vonalát. Ez azonban nem minden esetben vezethet eredményre. Ha például az aszfalt lejt, esetleg a szegély kitakar egy vízelvezető elemsort, az interpolációnkkal több centimétert tévedünk majd. Ebben a helyzetben a helyszín ismerete segít eldönteni, hogy a megfelelő pontossági kritériumok elérése mentén interpolálhatunk-e egy szegélyt.



12. ábra A szkennelési tengelytől távolabbi helyszín - Ebben az esetben már annyira távol vagyunk, hogy hiába tudnánk esetleg "behasalni" a megfelelő vonalakat, szinte biztos, hogy a megfelelő magasság beállításához, és esetenként a pozícióhoz sincs elegendő információnk, így itt a szegély nem szkennelt oldalán már nem hajthatnánk végre a kiértékelésünket, de legalábbis a szerzők ezt kifejezetten ellenjavalják.

Az eddig felsorolt szempontokat javasoljuk, hogy mindenki vegye figyelembe, és eszközök használata vagy beszerzése előtt mindenképp vizsgálja meg, hogy az eszköz megfelel-e a saját és szakmai kritériumoknak, hiszen az elkészült térképi adat minőségéért mindenki maga felel, mi csupán egy teljesebb képet igyekszünk nyújtani a felhasználónak, hogy a megfelelő alapossággal válasszanak eszközt.

6. A pontfelhők előfeldolgozása és előszűrése

6.1 Pontfelhők előfeldolgozása

A pontfelhők előfeldolgozásának része az adatkezelés, a trajectory számítás, a pontok abszolút koordinátáinak számítása, a relatív és abszolút igazítás, a színezés, az exportálás.

Bár külön alfejezetként tárgyaljuk az előszűrést, de egyes szoftverekben bizonyos szűrések még az exportálás előtt (sőt, akár az egyedi pontok koordinátáinak számítása előtt) elvégezhetőek, más szoftverekben erre nincs lehetőség, és az exportálás után, külső (3rd party - független gyártótól származó) szoftverrel kell megoldanunk.

6.1.1 Adatkezelés

Az adatkezelés részeként a szkennerről a feldolgozó számítógépre, és esetleg archiváló eszközre (NAS, HDD, stb.) másoljuk az adatokat. Az archiválás során célszerű valamilyen ellenőrzési módszert (ellenőrző összeg, rsync, stb.) használni a másolási hibák kiküszöbölésére

6.1.2 Referencia adatok letöltése

Amennyiben GNSS utófeldolgozást alkalmazunk a trajectory számításánál, abban az esetben megfelelő bázis-adatot kell használnunk - akár külső szolgáltatótól, akár saját bázisvevőről. Általában RINEX formátumban elérhető adatok. Célszerű még a mérés megkezdése előtt tájékozódnunk a lehetőségekről, az elérhető adat minőségéről (műholdrendszerek, adatsűrűség (epoch rate), a szóba jöhető bázisállomások távolságáról. Dinamikus alkalmazásoknál (MLS, ULS, ALS) az utófeldolgozás sokkal pontosabb eredményt szolgáltat sűrű bázisadat (pl. 1 Hz) esetén, mint 15 vagy 30 másodperc GNSS bázis-adat sűrűség esetén. Az ingyenesen elérhető bázisállomások általában csak 30, vagy 60 másodperc gyakoriságú adatot szolgáltatnak.

6.1.3 Trajektória számítás

MLS, repülőgépes, és drónos rendszerek esetében a trajektória kiszámítása külön feladat, melynek során az MLS rendszer által gyűjtött nyers GNSS adatokat, a bázisállomáson gyűjtött nyers GNSS adatokat, valamint az IMU-ból és DMI-ból (tehetetlenségi mérőeszköz, és távolságmérő) származó adatokat együtt dolgozza fel a szoftver.

A mérési körülmények (GNSS vétel, multipath), a szenzorok minősége (pontossága) szerint többféle módon is számíthatjuk a trajektóriát. Zavartabb GNSS környezetben

nagyobb mértékben kell az IMU és DMI szenzorokra támaszkodni, és a pozíciószámításba is be kell vonni ezeket, ilyenkor a Tightly-Coupled (szorosan csatolt) feldolgozás hozhat jobb eredményt, zavartalan GNSS vétel esetén elég lehet a Loosely-Coupled (lazán csatolt) feldolgozás is. Előre beállíthatjuk a visszavert jelek szűrésének módját is a mérési környezet függvényében. A kiszámított trajektória (SBET =Smoothed Best Estimate of Trajectory - azaz símított, legjobb becslése a trajektóriának) az eszköz haladási útvonalának és térbeli helyzetének adatait tartalmazza, rendkívül nagy felbontásban (akár 2 centiméterenként), és az időbélyeg, térbeli koordináták, és térbeli elfordulási szögek mellett gyakran tartalmazza mindezen adatok becsült középhibáit is.

6.1.4 Előfeldolgozás, lehatárolás

Egyes esetekben a pontok térbeli koordinátáinak kiszámítása előtt alkalmazhatunk távolsági lehatárolást, pl. vonalas létesítmény esetén 20-30-50 m távolságon túl már nem érdekel minket, vagy nem elég sűrű a pontfelhő - a feldolgozás paraméterezésével elérhető, hogy azokat a pontokat már ki sem számolja a feldolgozó szoftver.

6.1.5 Pontok számítása

A trajectory, tehát a műszer helyének és helyzetének ismeretében kiszámíthatjuk az egyes lézer(pontok) térbeli koordinátáit globális rendszerben (általában WGS84), hiszen azok a pontok eredetileg csak SOCS (Systems Own Coordinate System - azaz a műszer saját koordinátarendszere) rendszerben voltak tárolva. Egy kétfejes MLS esetében mindkét szkenner a saját rendszerében tárolja a méréseket, és bár egymáshoz, az IMU-hoz, GNSS antennához, DMI-hoz viszonyított helyzetük pontosan ismert (lever arms - külpontossági elemek), ezért mindezen adatok együttes feldolgozása szükséges a pontok koordinátáinak kiszámításához.

6.1.6 Pontok színezése

Amennyiben a feladat kívánja, és rendelkezésünkre áll színes digitális felvétel (pl. panorámakép), a pontfelhő pontjait kiszínezhetjük, a pontok olyan színt kapnak, mint amilyen színe volt a terepen az objektumnak, amiről a lézersugár visszaverődött.

Mivel a szín információt nem a lézer szolgáltatja, hanem a digitális fénykép, ezért térbeli kapcsolatot kell teremtenünk a fénykép pixelei és a lézerpontok között, tehát nagyon pontosan meg kell határoznunk a fényképkészítés helyét, a kamera elfordulási szögeit. Legtöbbször ezt a pontfelhőn és a fényképen is jól azonosítható pontok egymáshoz rendelésével tehetjük meg. Egyes szoftverek automatikusan is képesek meghatározni az adatokat, másoknál csak manuálisan tehetjük ezt meg. Az illesztési adatok (Camera Mounting Matrix) meghatározása, kiszámítása manuális módban akár 20-40 percig is

eltarthat, és minden esetben el kell végeznünk, ha a kamerák és szkennerek egymáshoz viszonyított helyzete megváltozott (pl. a kamerát le- és felszereltük). A feldolgozó szoftver a legközelebbi, megfelelő irányban készült képről kiválasztja azt a pixelt, mely a számítások szerint egybeesik a lézerponttal, és annak színét (RGB) hozzáadja a ponthoz.

A színező algoritmusok általában nem elemzik a köztes objektumokat, ezért színezési hibák is felléphetnek (lásd 8.4.2 Színezési hibák). A pontfelhő színezése általában nagy számítás- és időigényű feladat.

6.1.7 Pontfelhő abszolút igazítása

A kiszámított pontok által alkotott pontfelhő a trajektória alapján térbeli helyére került, de 3D globális pozíciója csak annyira pontos, amennyire a trajektória volt.

Szélső pontossági igény esetén illesztőpontok (GCP) felhasználásával a pontfelhőt hozzáigazíthatjuk az illesztőpontokhoz, a kívánt mértékűre csökkentve az abszolút hibát.

Használhatunk előre kihelyezett és mért, vagy utólag a pontfelhőből kiválasztott, és utólag megmért objektumokat (illetve jellemző, jól azonosítható pontjaikat). Nagy erőforrás-, idő-, és költségigényű eljárás, de nagy abszolút pontossági igény esetén nincs más megoldás.

6.1.8 Pontfelhő relatív igazítása

Egyes esetekben a pontfelhő(i)nk részei átfedhetik egymást (pl.: keresztező úthálózat mérése), és a pontfelhők csak annyira illeszkednek jól egymáshoz, amennyire a trajektóriák pontosak voltak.

A feladattól függ, hogy mekkora relatív hibát fogadhatunk el, de a hibahatáron túli eltérést (szellemkép) kezelnünk kell, erre való a relatív igazítás. Egyes feldolgozó szoftverekben erre van beépített modul, mely jól-rosszul próbálja ezt a feladatot megoldani, más esetekben külső szoftverrel, a már exportált pontfelhőn kell ezt elvégeznünk (lásd 6.3 Pontfelhők relatív illesztése).

Több megoldás is létezik. A teljesség igénye nélkül ezek lehetnek illesztősíkokkal, objektumok segítségével, illesztőpontok segítségével, pontfelhő-pontfelhő (C2C - Cloud-to Cloud) illesztéssel, vagy akár ezek kombinációjával is.

6.1.9 Pontfelhő exportálása

A kiszámított (esetleg színezett, illesztett) pontfelhőt az előfeldolgozó szoftverből a feldolgozó, vektorizáló, automatikus kiértékelő, vagy akár csak az külső illesztő, szűrő szoftverbe eljuttatni csak úgy tudjuk, hogy az előfeldolgozó szoftverből valamilyen általános (vagy speciális) pontfelhő formátumban exportáljuk azt.

Az exportálás során választhatunk formátumot, vetületet (vagy globális koordinátarendszert), alkalmazhatunk egyszerű (export) szűrőket.

A legismertebb pontfelhő formátum a LAS és a PTS, ezek általános adatcsere formátumok, de léteznek szoftverfüggő formátumok is.

6.2 Pontfelhők előszűrése

6.2.1 Zajszűrés

A pontfelhők előszűrése műszer- és szoftverkörnyezettől függően történhet az előfeldolgozás után, a már exportált pontfelhőn, külső szoftverrel, de egyes esetekben már az előfeldolgozás során is alkalmazhatunk szűrőket.

A szkennelés során különböző forrásokból származhat olyan zaj, melyet szeretnénk eltüntetni (por, köd, eső, hó, rovarok, túlfutás, tükröződés stb). Ezen zajforrások hatása csökkenthető méréstervezéssel (eső, hó), de a por és a rovarok (pl. árvaszúnyogok felhői) nem küszöbölhetők ki méréstervezéssel, ezért kénytelenek vagyunk a keletkezett zajt kiszűrni.
Korábban, a pontfelhő torzulásai során említettük a “súrló” lézersugarakból (nagyon alacsony beesési szögű impulzusokból eredő “pont túlfutás” jelenségét, mely szintén zaj, ezért kiszűrésük szintén kívánatos.

Zajszűrésre a zajforrás jellegétől függően különböző lehetőségeink vannak:

- Diszkrét pontok szűrése (por, rovarok, eső, köd, hó, kismértékben a túlfutás).

Feldolgozó szoftverektől függően ez történhet még a pontfelhő feldolgozása során, vagy ezen lehetőség hiányában külső szoftverrel utólag (pl. LASTools).
A megfelelő paraméterezéssel a szoftver megkeresi azokat a pontokat, melynek közelében kevés szomszéd található. A keresési sugár és a szomszédok számának meghatározása valószínűleg iterációt igényel, mert helyzetfüggő, de jól beállított paraméterekkel a zaj nagy része kiszűrhető úgy, hogy értékes pontokból nem (vagy csak minimális számban) veszítünk.

- Túlfutás szűrése

Egyes szkennerek deviancia (szórás) értéket is tárolnak minden visszaverődéshez, melyet fel tudunk használni a túlfutásos pontok szűrésére. A pontfelhő feldolgozás során be tudunk állítani egy küszöbértéket (deviance gate), mellyel a túlfutásos pontok nagyobb része kiszűrhető. A devianciaszűrés kiszűri a diszkrét pontok egy részét, és a tükröződés egy kis részét is.

Feladattól függ, és mérlegelés kérdése, hogy mi az elsődleges, a túlfutásból eredő zaj csökkentése (pl. AI kiértékelés esetén, a konfidenciaszint növelése érdekében), ami értékes (nem zaj) pontok elvesztésével járhat, vagy a devianciaszűrés kihagyása, így a pontfelhőnk sűrűbb marad, több, de zajosabb információt tartalmaz, melynek interpretációja emberi feldolgozást igényel.

- Tükröződés szűrése

Az üveg- és vízfelületen "megpattanó" impulzusok tükröződéseket hoznak létre, azaz valós objektumokról rossz helyen jön létre a pontfelhő (pl. épületen belülre került fák, stb.). A tükröződés szűrése a legnehezebb, mert a devianciaszűrés csak kevésbé hatásos, a diszkrét pont szűrés pedig egyáltalán nem. Az intenzitás értékek alacsonyabbak a tükröződő pontok esetén, de nem annyira, hogy küszöbérték beállításával automatikusan kidobhassuk ezeket, hiszen vannak olyan értékes pontjaink is, melyeknek alacsony az intenzitása. Az intenzitásszínezés segíthet azonosítani a tükröződéseket, de ezen pontokat leginkább csak kézzel tudjuk törölni (vagy átosztályozni).

- Távoli pontok szűrése

Nem zaj, a szó technikai értelmében, de a feladat szempontjából felesleges, sőt zavaró pontokat eredményez. Szűrése a távolsági lehatárolással (range gate) történhet. A nagyobb távolságban mért pontok ráadásul átfedhetnek más pontfelhő szakaszokkal (pl. szomszéd utcából mért pontok), ami szellemképként jelentkezhet.

6.3. Pontfelhők relatív illesztése

A korábban leírtak fényében a relatív illesztés részletes tárgyalására és magyarázatára a statikus szkennerek (TLS) kapcsán kerítünk sort.

A kézi mobil mérőrendszerek esetében például a pontfelhő felépítését folyamatosan a pozícionáló és feldolgozó egységek végzik el helyettünk és jelenítik meg akár valós időben a munkaterületen.

Egyes SLAM-ek esetében a végleges számítás felhasználói beavatkozás lehetősége nélkül, már a terepi adatrögzítéskor megtörténik, míg más megoldás biztosít némi irodai újra-paraméterezést és finomítást előfeldolgozás gyanánt.

Ezzel szemben egy állószkenner esetében a relatív illesztés célja a műszer belső memóriájában álláspontonként tárolt pontfelhők pontos egymáshoz regisztrálása. Ehhez arra van szükség, hogy terepi észleléskor mindig legalább két álláspontról olyan pontfelhők készüljenek, melyek adattartalmában átfedés, azaz közös részletek vannak. Minél nagyobb ez az átfedés a regisztráció annál biztosabb lesz.

A relatív illesztés a felhők között történhet közös természetes illesztőpontok átazonosításával manuálisan, előzetesen kihelyezett mesterséges illesztőpontok (jeltárcsák, célpontok, stb.) alapján félautomatikusan, illetve korszerűbb szoftverek esetén síkok, élek, sarokpontok alapján, teljesen automatizáltan.

A manuális módszernél kijelölhetünk "természetes" illesztőpontokat, azaz olyan mindkét pontfelhőben megtalálható, jól azonosítható részleteket, mint felfestések, ablak, - épület sarkok, csatorna könyökök, stb. Ennél pontosabb megoldást adhat "mesterséges" illesztőpontok, pl. céltáblák, jeltárcsák, illesztő gömbök alkalmazása és azok megjelölése közös pontokként a regisztrációban. A félautomatikus szoftverek általában ezeket maguktól ismerik fel úgy, hogy az illesztés előtt a felhasználó definiálja milyen jeleket kell keresniük a virtuális térben.

Manapság a legtöbb gyártó irodai alkalmazása képes az automatikus un. pontfelhő-pontfelhő illesztésre. Amennyiben az egyes pontfelhő darabokat 40-50%-os átfedéssel szkenneltük, elég csak beolvasni azokat és a feldolgozó szoftver automatikusan összeilleszti őket. A fejlettebb szoftverek nem csak egyesével fűzik egymás után az álláspontokat, hanem vizsgálják a többszörös átfedéseket is közöttük, kiegyenlítik a tömbzárást és részletesen jegyzőkönyvezik a számítást.

Nem egy korszerű statikus szkenner biztosít lehetőséget már a terepen is az automatikus relatív illesztésre. Ilyenkor, ahogy elkészülnek az egyes álláspontok és pontfelhők, azonnal történik is azok, csaknem valós idejű regisztrációja. Ez történhet síkok, élek, sarkok mentén, sőt optikai részletfelismerés bevonásával. Amennyiben pedig a szkenner rendelkezik GNSS kiegészítővel, kültéren az álláspontok közelítő abszolút pozíciója is segíti az algoritmust.

A terepi szoftverek általában szintén állítanak ki jegyzőkönyvet a helyszíni regisztráció eredményeiről. Természetesen, ezeket a terepen automatikusan illesztett, kész pontfelhőket is érdemes az irodában az asztali előfeldolgozó programban átnézni, ellenőrizni, elcsúszás esetén újra illeszteni. A relatív illesztés témakörébe tartozik a mobil

vagy légi lézerszkennelés során rögzített, egymást átfedő pontfelhők illesztése is. Ezek az átfedő részek kialakulhatnak különböző mérési időpontokban rögzített adatok között, egy út oda-vissza méréséből, de akár egy autópálya mérése során a főpálya és a keresztező felüljárók, vagy gyűjtő-elosztó pályák mérésének átfedéséből is. Megoldása történhet illesztőpontok használatával (kiterjedt mérési terület esetén nem feltétlenül gazdaságos), pontfelhő-pontfelhő (cloud-to-cloud - C2C) illesztéssel, és illesztősíkokkal is. Jó abszolút pontosságú trajektória esetén lehet, hogy a szellemkép a feladat által meghatározott tűréshatár alatt marad, ezért mindenképpen érdemes nagy gondot fordítani a méréstechnikára, a jó GNSS vétel szempontjainak figyelembevételére, megfelelő bázisállomás választásra.

6.3. Pontfelhők abszolút illesztése

A statikus szkennelésből származó pontfelhők abszolút illesztésén értjük azok adott térképi rendszerbe történő térbeli transzformációját. A műveletre georeferálásként is szokás hivatkozni. A legpontosabb módszer a munkaterületre kihelyezett, a vonatkozó térképezési rendszerben kialakított és kiegyenlített kerethálózatról optikai úton, mérőállomással meghatározott, mesterséges illesztőpontok pontfelhőben való átazonosítása, manuális, vagy félautomatikus módon. Ilyenkor a kész pontfelhőben felkeressük és kijelöljük, vagy a szoftverrel kijelöltetjük az egyes célpontokat, majd abszolút koordinátákat rendelünk hozzájuk.

A georeferálás egy iterációs folyamat, mely során a legtöbb előfeldolgozó szoftver lehetőséget biztosít az illesztőpontok számításba való ki/be kapcsolására. Így a felhasználó láthatja, hogy az egyes pontok bevonásával, eltávolításával miként változik a transzformáció maradék ellentmondása. Természetesen, a legtöbb hibát mindig a georeferálásba bevont legszélső pontok veszik fel, így noha úgy tűnhet, kikapcsolásukkal javul a középhiba, a számítás végeredménye jelentősen torzulhat. Éppen ezért az abszolút illesztés odafigyelést és szakértelmet igényel.

Álló szkennerből származó pontfelhők esetében az abszolút regisztráció merev, azaz rigid transzformáció, azaz a folyamat során az egyes álláspontokhoz tartozó pontfelhők egyetlen tömbként lesznek kezelve, csak eltolás és elforgatás történik az illesztés során.

A hibaterjedés törvénye alapján, minden lépésben figyelembe véve a hálózati, - meghatározási, - eszköz, - kiértékelési, - valamint személyi hibákat, fontos ökölszabályként megfogalmazható a következő:

Bármilyen eredménytermék, amit georeferált 3D-pontfelhőből származtatunk, értékelünk ki, abszolút értelemben legfeljebb annyira lesz pontos, amennyire a georeferálása megbízható volt. A georeferálás viszont csak annyira megbízható,

amennyire a transzformációba bevont illesztőpontok azok. Az illesztőpontok pozíciója annyira lesz pontos, amennyire abszolút koordinátáikat jól határoztuk meg. Az illesztőpontok helyzetének meghatározása pedig annyira lesz megbízható, amennyire az alapponthálózat, amiről meghatároztuk őket!

A fentieket szem előtt tartva kisebb pontossági elvárás, pl. GIS célú adatgyűjtés esetén elégséges lehet az illesztőpontok RTK GNSS-szel történő meghatározása is.

A legtöbb SLAM kézi szkenner, illetve az állószkennerek, valamint mobil és légi térképező rendszerek irodai alkalmazása képes előzetesen bemért, vagy észlelés közben RTK GNSS-kiegészítővel felkeresett un. GCP-kre (Ground Control Point - földi alappont) is georeferálást végrehajtani. Ilyenkor előfeldolgozáskor a pontfelhő abszolút regisztrációja ezekre a bemért pontokra történik.

A transzformáció lehet rigid, illetve akár non-rigid (nem merev) is - hiszen a trajektória minden egyes pontja (akár 2 centiméterenként) különböző pozícióhibával és helyzeti hibával terhelt. A komolyabb (MLS, ULS) algoritmusok a pontfelhő illesztésénél magának a trajektóriának a pontjait "igazítják", pozíciójuk és a hozzá tartozó helyzeti adatok módosításával érik el az átfedő pontfelhő szakaszok illesztését.

Non-rigid transzformáció esetén az algoritmus megpróbálja gumilepedőszerű transzformációval kifeszíteni a pontfelhőt az illesztőpontok közé. Így viszont még hangsúlyosabbá válik az illesztőpontok megbízhatósága, hiszen, ha azok pozíciója pontatlan, a pontfelhő is súlyos hibával terhelt lesz.

7. Vektoros kiértékelés pontfelhőből

Ebben a fejezetben a vektoros kiértékelés általános eszközeit vesszük át, annak érdekében, hogy segítsük a kollégákat a feladat elvégzésében. A leírás szempontjából a vektoros kiértékelést CAD kiértékelésként értelmezzük, noha a magyar mérnöki gyakorlatban kifejezetten gyakori a térinformatika alapú kiértékelés is.

7.1 A vektoros kiértékelés célja

A vektoros kiértékelés célja, hogy a lézerszkennerekkel mért pontfelhők - melyeket a valóság egy nagyon részletes modelljének tekintünk - adattartalmából kiemeljük a számunkra szükséges elemeket, hogy előállíthassuk a valóság egyszerűsített modelljét, a térképet.

Vektoros kiértékelésről akkor beszélünk, ha a pontfelhőből a jellemző pontokat, vonalakat, vagy felületeket értékelünk ki. Egy CAD-es környezetben ez pontokat, vonalakat, vonalláncokat, vagy blokkokat jelent a leggyakrabban. Ezeket az elemeket használja a legtöbb földmérő és ügyfeleik is, így a hatékony megoldás megismerése minden lézerszkennert használó mérnök elemi feladata.

Különböző mérnöki szakterületek számára különböző szoftverek léteznek, nem minden szakterületnek megfelelő minden kiértékelő szoftver az eltérő igények miatt. A vektoros kiértékelésbe jelen leírás tekintetében a 3D modellezés nem tartozik bele, mivel ott háromdimenziós testeket szükséges használni, amely bár folyamatosan teret nyer, nem fókusza ennek a leírásnak.

7.2 A vektoros kiértékelés megközelítése

A pontfelhők vektoros kiértékelése során két alapvető megközelítés létezik melyet a mérnökök a gyakorlatban követnek. Minden embernek más és más a személyes preferenciája, ezért nem célunk, hogy egyik vagy másik megközelítést ajánljuk az olvasónak, azonban a megközelítések ismerete alapvetően befolyásolhatja a szoftver választást vagy a kiértékelés elvégzését és annak időigényét. Tekintsük át ezeket.

7.2.1 Szelvény alapú kiértékelés

A szelvény alapú kiértékelés során, ahogy a neve is sugallja, a kiértékelés végrehajtása metszetekben történik. Ilyenkor a pontokat vagy vonalakat metszetekben hozzuk létre. Ez lehet keresztszelvény rajzolása vagy hosszanti elhelyezkedésű elemek - például szegélyek - esetében az elem keresztszelvényeiben megjelölt pontokat használunk, és ezek manuális vagy automatikus összekötésével hozzuk létre a vonalas elemeket.

A szelvény alapú kiértékelés alapvetően pontosnak tekinthető, hiszen a felhasználó igényeire szabott vastagságú metszetben könnyű megtalálni a megfelelő magasságot egy töréspont számára, azonban a metszet sok esetben nem adja vissza megfelelő módon a környezetet, ezért annak hiányában egy gyengébb pontsűrűségű felhőben könnyebb hibát véteni.

A szelvény alapú kiértékelés kifejezetten hatékony vonalas létesítmények kiértékelésekor (pl. autópálya, vasút, felsővezeték, stb.) illetve nagy pontosságú kiértékelésnél, ahol kifejezetten nagy figyelmet kell fordítani a töréspontok illeszkedésére a pontfelhővel.

A ritkább pontfelhők esetében is hasznos lehet ez a kiértékelési mód, azonban bokros területeken (például autópályák mellett, ahol az autópálya kiértékelése a feladat) a szelet vastagság gyakran nem tartalmaz elegendő pontot, ezért a magasságot tévesen ítélhetjük meg. Minden esetben fontos tehát, hogy a szelvényekkel történő kiértékelést az elvégzését követően ellenőrizzük a vektorainkat perspektív (3D-s) nézetben is.

7.2.2 Perspektív kiértékelés

A perspektív kiértékelés során a felhasználók a pontfelhőt három dimenzióban forgatják, és közvetlenül rajzolnak rá, metszetek nélkül. Természetesen a pontfelhő valamilyen szintű szűrése ebben az esetben is gyakori, például osztályok kikapcsolása, vagy bizonyos magasság felett és alatti pontok kikapcsolása, viszont a kiértékelés közvetlenül a perspektív nézetben történik. Ez a kiértékelési mód azoknak előnyös, akik nagyon jól látnak térben, és kézre áll számukra a 3D mozgás is. Perspektív kiértékelést a legtöbb szoftverben el lehet végezni, de a felhasználói élmény kifejezetten széles skálán mozog. Ez a módszer sűrű beépítettségű, zajos, vagy részletgazdag helyeken hatékony igazán, mivel a felhasználónak nem kell folyamatosan új szelvényt felvennie, hanem a nézet folyamatos mozgatása mentén “be tud látni” objektumok “mögé” vagy “mellé”, így megtalálhatja a számára szükséges részletet.

A perspektív kiértékelés során fontos figyelni arra, hogy a használt szoftver milyen snap módot (fogó módot) ajánl a felhasználóknak, ebből mi van bekapcsolva, milyen beállításokkal, és egy elhelyezett pont vagy töréspont ténylegesen arra a helyre került elhelyezésre, ahová a felhasználó ezt ténylegesen szerette volna. A pontfelhők általában “zajosak”, vagyis fals pontok találhatóak meg a felhőben, melyeket nem minden esetben tudunk észrevenni, és ez perspektív nézetben nehezebb feladat. Például egy épület tövében meghúzni egy épület vonalat nehézkes lehet, ha növényzet nő az épület tövében. Metszet nézetben könnyebb ezt figyelmen kívül hagyni, azonban egy perspektív kiértékelés esetében el kell találjuk elsőre a megfelelő pontot vagy a pont elhelyezését követően állítanunk kell a magasságán.

Mind a szelvény alapú mind a perspektív kiértékelések esetében érdemes végig gondolni, hogy a kiértékeléskor egyszerre mind a három dimenziót kiértékeljük, vagy először csak kétdimenziós, XY helyet határozzunk meg, és utólag állítsuk a magasságot. Természetesen az adott feladat és az ahhoz tartozó pontossági kritérium is befolyásolja ezt a döntést, de általánosságban javasolt a kiértékelés elvégzését követően ellenőrizni a rajzot három dimenzióban vagy képekkel, amennyiben a szoftver ezt támogatja.

7.2.3 Felülnézeti kiértékelés

Egyes objektumtípusok estében (pl: burkolatszél, elválasztó vonalak, kiemelt szegély, akna fedlap), amennyiben nincs a kiértékelendő vonalak, pontszerű objektumok felett takarás (lomb, bokor), lehetséges a felülnézetből történő kiértékelés is. A leggyorsabb módszer, de nem minden objektumtípusra működik. Egyes esetekben össze lehet kötni a pontfelhőre vetítéssel (Drape, vagy snap a legalacsonyabb pontra, lásd később), ezzel pl. lehet szegély alsó vonalat kiértékelni, még ha esetleg a pont "felugrott" a szegélykő tetejére.

7.3 A pontfelhőből kiértékelés eszközei

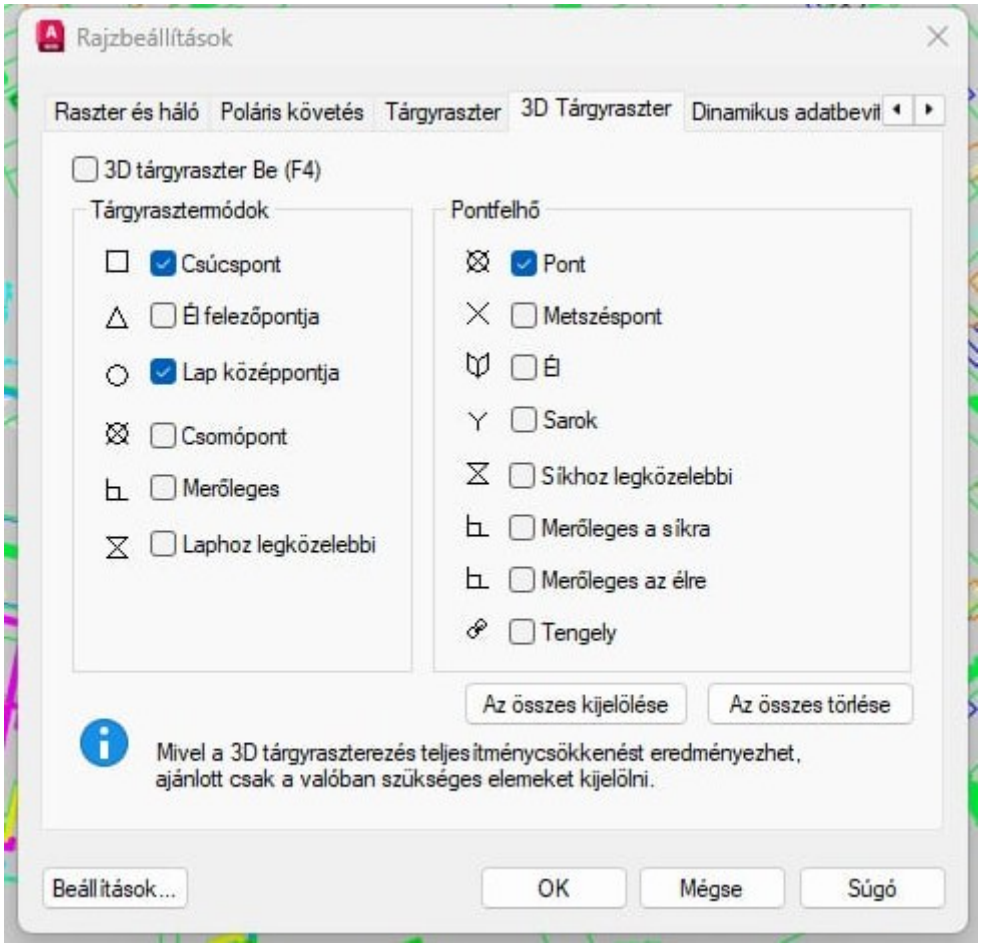
A pontfelhő kiértékelés eszközei nagyrészt átfednek egy hagyományos CAD alapú kiértékeléssel, azonban vannak olyan speciális eszközök, melyek a megszokott környezetekben nem érhetőek el, vagy egy pontfelhő alapú kiértékelésnél másként viselkednek vagy több dologra érdemes figyelni használatukkor.

Az alapvető rajzeszközökre, mint a vonal rajzolás, pont elhelyezés, vonal megtörés, töréspont beszúrás, stb. nem térünk ki külön, mivel a legtöbb szoftverben megtalálhatóak, és használatuk alapvetően megegyezik minden környezetben.

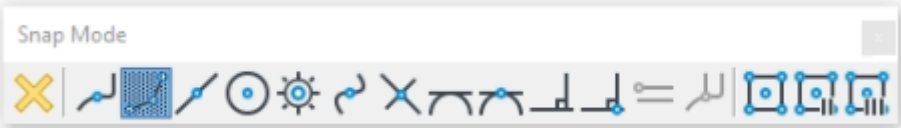
7.3.1 Snap vagy tárgyraszter módok

A pontfelhőből történő kiértékelés alkalmával feltétlen szót kell ejteni a snap módokról, mivel ezek nagyban befolyásolják a kiértékelés elvégzését. Természetesen a snap módok megválasztásánál fontos, hogy két vagy háromdimenziós rajzot szükséges készíteni az ügyfél részére, mivel a háromdimenziós kiértékelés során a pontfelhő snap módok hangsúlyosabbak a vektoros módokhoz képest.

A különböző szoftverek különböző megközelítéseket alkalmaznak. Míg például az AutoCAD széles választékot ad a snap módokra pontfelhők esetében is, a Microstation kevesebbet, míg a PointCloudScene csak párat.



13. ábra Snap módok AutoCad Map3D 2025-ben.



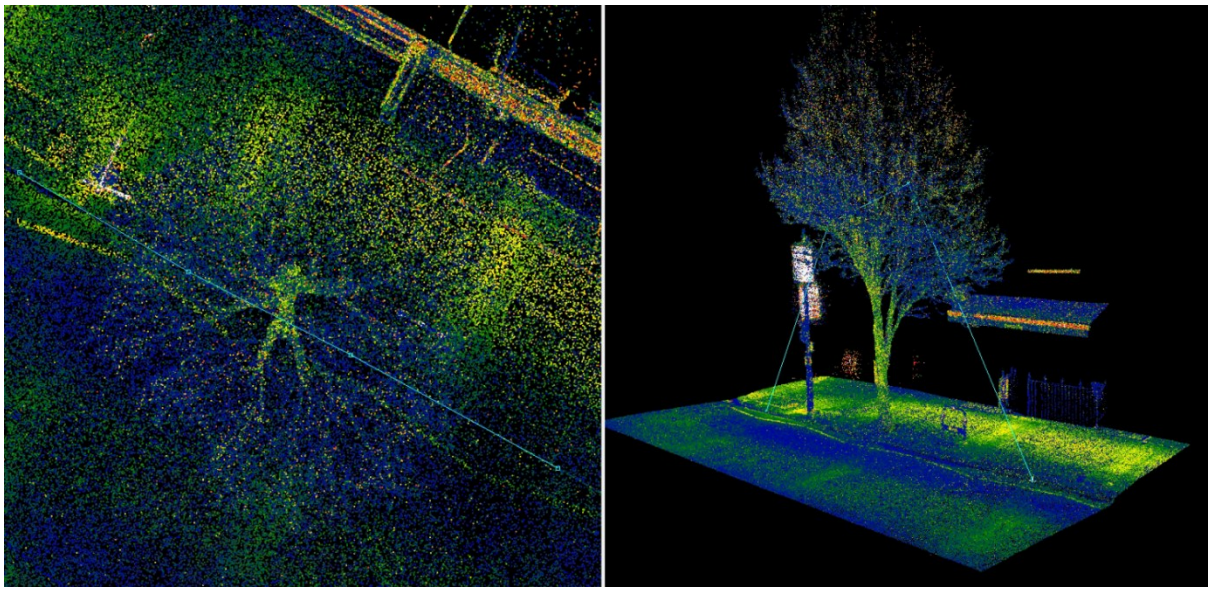
14. ábra Snap módok Microstation-ben.

15. ábra Snap módok PointCloudScene-ben.

A snap módok folyamatos kezelése fontos a kiértékelés során, hiszen menet közben könnyedén előfordulhat olyan helyzet, hogy a pontfelhőn húzott vonal következő töréspontja már létező töréspontba kell kössön, és ilyenkor nem pontfelhőre, hanem vektor pontra kell fogni. Ha egy ilyen helyzetben mégis pontfelhőre fogunk, lehet, hogy rá tudunk fogni pontosan ugyanarra a pontra, amelyen a vektor töréspont található - ha az pontfelhőre volt snappelve eredetileg - de ez egy korántsem biztos, ahogy az sem, hogy egy ilyen hibát észreveszünk. Vektorok esetében két dimenzióban a szoftverek intuitív

módon jelzik, melyik snap módot használják egy adott töréspont elhelyezéséhez, ez perspektív nézetben ritkábban van így, ezért a felhasználóknak kifejezetten javasoljuk, hogy mindig figyeljenek az aktív snap módra. Ugyanennél az esetnél az is előfordulhat, hogy egyszerre van bekapcsolva pontfelhő és vektor snap is, így nem tudjuk, hogy ha egy töréspont és pontfelhő pont közel van egymáshoz, akkor melyikre is fogtunk.

Arra is szintén érdemes figyelni, hogy milyen nézetet használunk, hiszen egy kétdimenziós felülnézetben pontfelhőre snappelést használni esetenként nehézséget okozhat. Ha például egy útszél vonalat húzunk meg pontfelhő snapet használva egy fa alatt, nem tudhatjuk, hogy a vonal a talajszinten húzzuk, vagy pedig ráfogtunk a fa lombjának belsejére. Természetesen ez utólag is javítható, de a megfelelő snap megválasztásával eredendően is elkerülhető a hiba.



16. ábra Felülnézetből kiértékelt útszél, ahol a nem megfelelő snap mód használata miatt a töréspontok ráfogtak a fa lombjára.

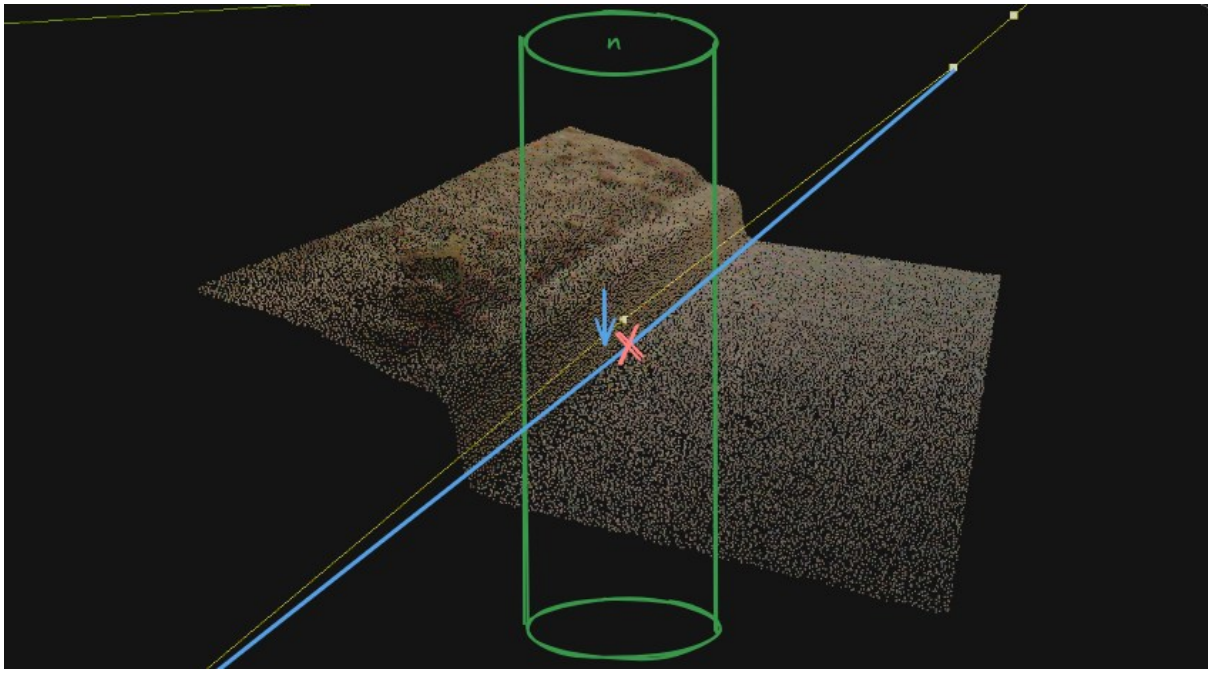
Amennyiben két dimenzióban szükséges elvégeznünk a kiértékelést, úgy a snap módokat a pontfelhő szemszögéből figyelmen kívül hagyhatjuk, hiszen csak a vektorokra kell fókuszálni. Természetesen ilyen esetben célszerű csak felülnézeti kiértékelést végrehajtani, vagy egy kijelölt referencia síkon, vagy felhasználói koordináta rendszer által megkötött metszetben rajzolni, hogy a kiértékelés ténylegesen egy síkba kerüljön. Perspektív nézetekben soha ne végezzünk snap módok nélküli kiértékelést.

Egyes szoftverek támogatják a gyorsbillentyűk használatát a snap módok ki-be kapcsolására, ezek elsajátítása sokat segíthet a hatékony kiértékelés elvégzésében.

7.3.2 Drape eszköz

A drape eszköz az egyik legfontosabb a pontfelhő kiértékelő eszközök közt, és a legtöbb szoftver, amely a pontfelhők vektoros kiértékelését támogatja, általában rendelkezik ilyen eszközzel - esetleg más néven, de azonos logikával. A drape a köznyelvi megközelítésben a “vektorokat pontfelhőre húzó eszköz”, ezért ismerete kiemelten fontos.

A drape eszköz lényege, hogy a felhasználó beállít egy kereső sugarat, amivel a szoftver minden - a kiválasztott vektor - töréspont körül egy hengerben (paraméterezett vagy végtelen magas) vizsgálja a pontfelhőt, és azt a magasságot rendeli hozzá a törésponthoz, melyet a felhasználó beállít (legalacsonyabb, legmagasabb, átlagos, súlyozott átlagos, egyéb módon paraméterezett.

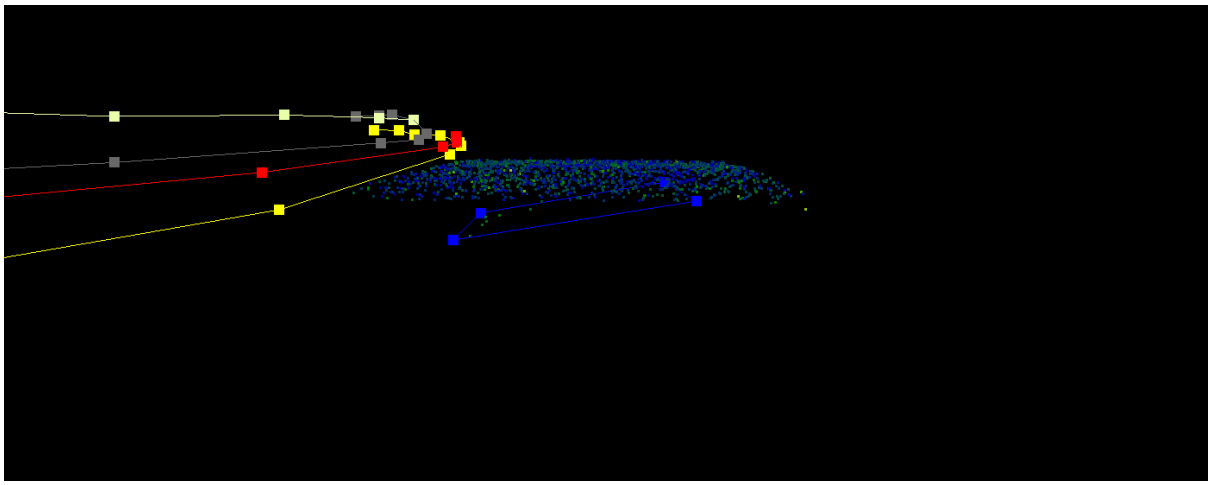


17. ábra Egy töréspont körül n sugarú kör felhasználásával képzett hengeren belül keressük a legalacsonyabb magasságú pontot, ami az esetek többségében a talajról rögzített pont, és ezt a magasságot hozzárendelve a törésponthoz az a megfelelő magasságra kerül.

Bár a drape eszközt a legtöbb felhasználó arra használja, hogy magasan lévő vonalakat vagy pontokat húzzon, az eszköz ennél szélesebb körben használható. Különböző szoftverek különböző beállításokat kínálnak fel a felhasználóknak. Például a TopoDOT szoftverben van lehetőség nem kör alakú mintavételezési helyet beállítani, figyelembe venni a pontfelhő átlagos dőlését, eltolást alkalmazni a vizsgálat során, vagy csak bizonyos osztályokat figyelembe venni.

Fontos rávilágítani azonban arra, hogy a drape eszköz hatékonysága nagyban összefügg a forrás adat minőségével. Ezen segédlet írásakor általánosságban alkalmazott szoftverek

a drape eszközt nem mesterséges intelligenciával támogatva, hanem matematikai szabályok alapján alkalmazzák. Ennek okán, ha a pontfelhő szellemképes, zajos, fals pontokat tartalmaz, a drape nem fogja a felhasználó által elvárt eredményt hozni. Például, ha egy vízparton végzünk mérést, és a víz partvonalát szeretnénk drapelni, akkor a víz miatti reflekció miatt a töréspontok jóval a valós helyük alá lesznek mozgatva. A leggyakoribb pontfelhő hibákat - melyek a drape eredményét is befolyásolják - lásd 8. fejezetben.



18. ábra Egy víznyelő, ahol a drape félrerántotta a vektort, mivel a lézer belátott a víznyelő rácsain.

Általános érvényű tanács tehát, hogy a drape eredményét mindig célszerű három dimenzióban ellenőrizni, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy az elkészült vonal, blokk vagy pont a megfelelő magasságra került a drape használata után.

A drape funkció azokban a feladatokban is gyakran előkerül, ahol az ügyfélnek van egy már meglévő rajza 0 magasságon, és ezt szeretné felhúzni a pontfelhőre. Ilyen esetekben is a drape eszköz a megoldás a feladat elvégzésére, azonban itt kiemelten figyelni kell a helyzeti pontatlanságokra. Például, ha egy támfal alsó vonala 15 centire a támfalon belülre van eltolva, akkor egy 5 vagy 10 centiméteres keresősugarú drape nem fogja megmozdítani a vonalat, vagy a támfal tetejére rántja a támfal alja vonalat. Ilyen feladatoknál mindig célszerű három dimenzióban ellenőrizni a drapelt elemeket.

7.3.3 Többvonalas kiértékelő eszközök

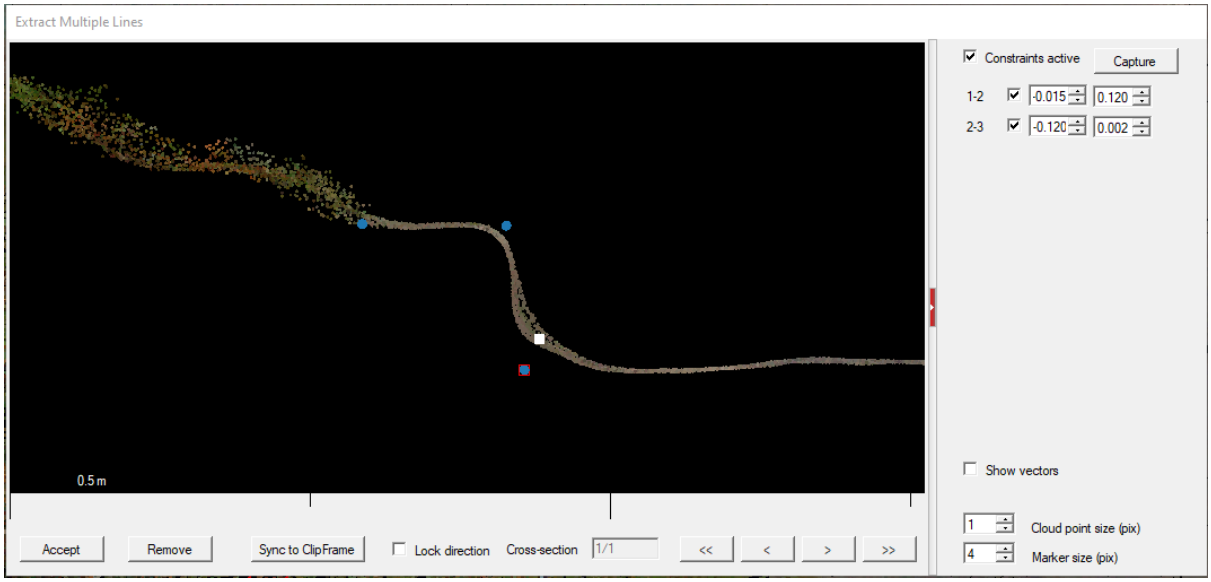
A pontfelhő kiértékelő eszközök között gyakran megjelennek többvonalas kiértékelő eszközök, amelyek azt a célt szolgálják, hogy a felhasználók szelvény nézetben a megfelelő kulcspontok szelvényenkénti megjelölésével egyszerre több vonalat rajzolhassanak meg a vonalas elem adott távolságonkénti szelvényezésével. Ez a funkcionalitás kifejezetten hasznos vonalas létesítmények, mint autópályák, vasutak,

alagutak kiértékelése során, hiszen egy, a felhasználó által paraméterezett szelvényben könnyedén megjelölhetjük a számunkra szükséges pontokat.

Ilyen eszközt találunk például a TopoDOT-ban, a PointCloudScene-ben, vagy az N4CE-ban is. Működésük hasonló, csupán a felhasználói felület tér el némiképp.

Ahogy a 7.2.1-es fejezetben már jeleztük, a szelvény alapú kiértékelés során figyeljünk arra, hogy csak egy szelvényt látunk, így a kontextus nélkül lehet, hogy hibás helyre teszünk egy töréspontot, mivel a metszetben a pontfelhő gyenge. Célszerű ezért olyan elemeket kiértékelni ezzel az eszközzel, melyek elég sűrű pontfelhővel rendelkeznek, például szegélyek, szalagkorlátok, sínszálak, stb. Ha például bozótos területen próbálunk meg rézsűt kiértékelni, a növényzet miatt lehet, hogy ez az eszköz nem a leghatékonyabb megoldás.

A többvonalas kiértékelés azokban az esetekben is hasznos, ha az "elméleti" állapot térképezése a cél, nem pedig a "meglévő" állapoté. Egy szegélykő esetében például sosem beszélhetünk ideális helyzetről, ahol a szegély állapota tökéletes, hiszen egyes részeken mindig megsüllyed vagy magasabb. A többvonalas kiértékelők azonban lehetőséget adnak arra, hogy a pontok egymáshoz való helyzetét rögzíthessük, így például teljesen szabályos szegély vonalakat is rajzolhatunk, ha ismerjük a szegély elméleti méretét.



19. ábra Többvonalas kiértékelés a PointCloudScene-ben, ahol a pontok távolsága megköthető.

Fontos kiemelni, hogy a többvonalas szerkesztő hatékonysága kifejezetten a vonalas létesítmények esetén jelentkezik, hiszen minél hosszabb szakaszt kell kiértékelni, annál hatékonyabb a több vonalas eszköz, míg egy belvárosi közegben 50-100 méter szegélyt megrajzolni manuálisan és párhuzamosítással gyakran gyorsabb. Természetesen az

eszköz használatát a felhasználó saját preferenciái és a projektek pontossági követelményei is befolyásolhatják.

7.3.4 Alakzat kiértékelők

Alakzat kiértékelő eszközök - mint kör, négyzet, téglalap, ellipszis, stb - a legtöbb szerkesztő szoftverben elérhetőek különböző rajzolási megoldásokkal (paraméterezett, 2 pont, 3 pont, középpont+sugár, A és B oldal/féltengely megadása, stb.). A pontfelhő kiértékelés vonatkozásában azonban érdemes végig gondolni, hol milyen megoldást választunk, mivel általában egy háromdimenziós kiértékelést hajtunk végre, és itt könnyedén véthetünk nehezen észrevehető hibákat.

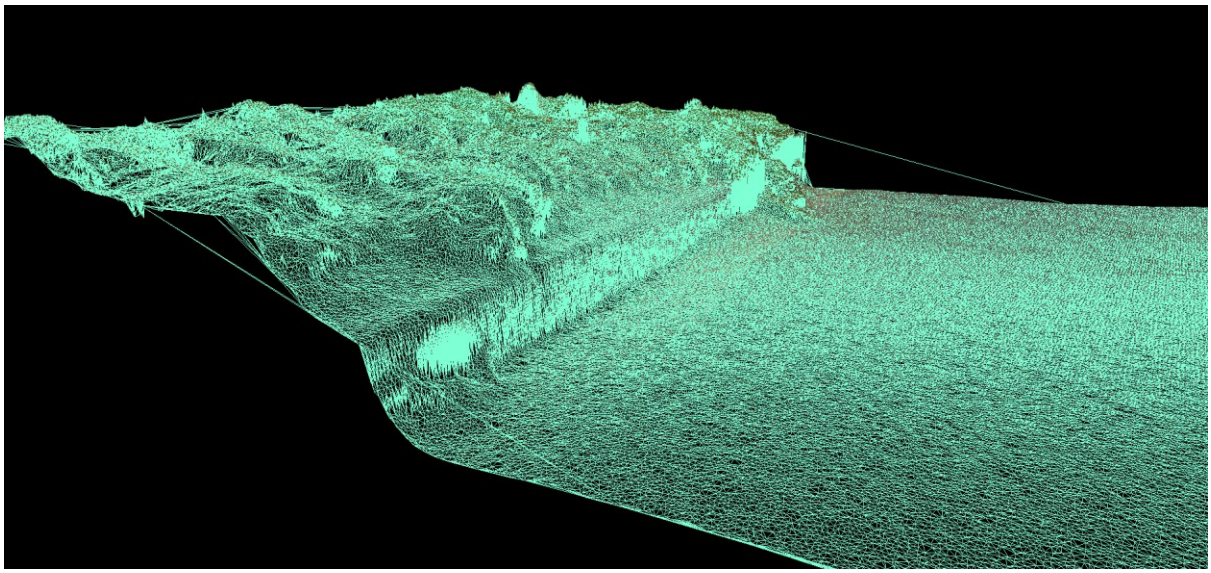
Az alakzatok elkészítésekor a felhasználónak figyelembe kell vennie a felhasználói igényeket: a felhasználó ragaszkodik-e például aknák esetében a pontosan 90°-os sarkokhoz, vagy hogy egy akna összes pontja egy síkra essen? Ezekre a kérdésekre azért fontos tudni a választ, mert meghatározza például azt, hogy elvégezhetjük-e a kiértékelést perspektív nézetben. Ha például egy téglalapot vagy sokszög alakzatot háromnál több ponttal rajzolunk meg, akkor érdemes figyelni arra, hogy azonos snap módokat használjunk, hiszen három pont mindenképpen egy síkra kerül, de ennél több már nagy valószínűséggel nem.

Alakzatok esetében szintén érdemes figyelni arra, hogy használunk-e drape funkciót, vagy sem. Egy víznyelő esetében például célszerű a négyzetet pontosan elhelyezni a megfelelő snap módok használatával, ugyanis, ha csak közelítő magasságra helyeztük el, akkor nem szerencsés drape eszközzel finomítani a magasságot, mivel a szkennerek gyakran belelátnak a víznyelőbe, így a lentebb lévő pontok „le fogják rántani” az egyik vagy több sarokpontot az akna belsejében lévő pontok magasságára (lásd előző alfejezet). Kerek aknáknál, ha az akna egy sokszög vonallal kerül ábrázolásra, a drape minden egyes töréspontra egyedileg interpolál egy magasságot, ami egy “cikk-cakkos” akna körvonalat eredményez.

7.3.5 Felületépítés

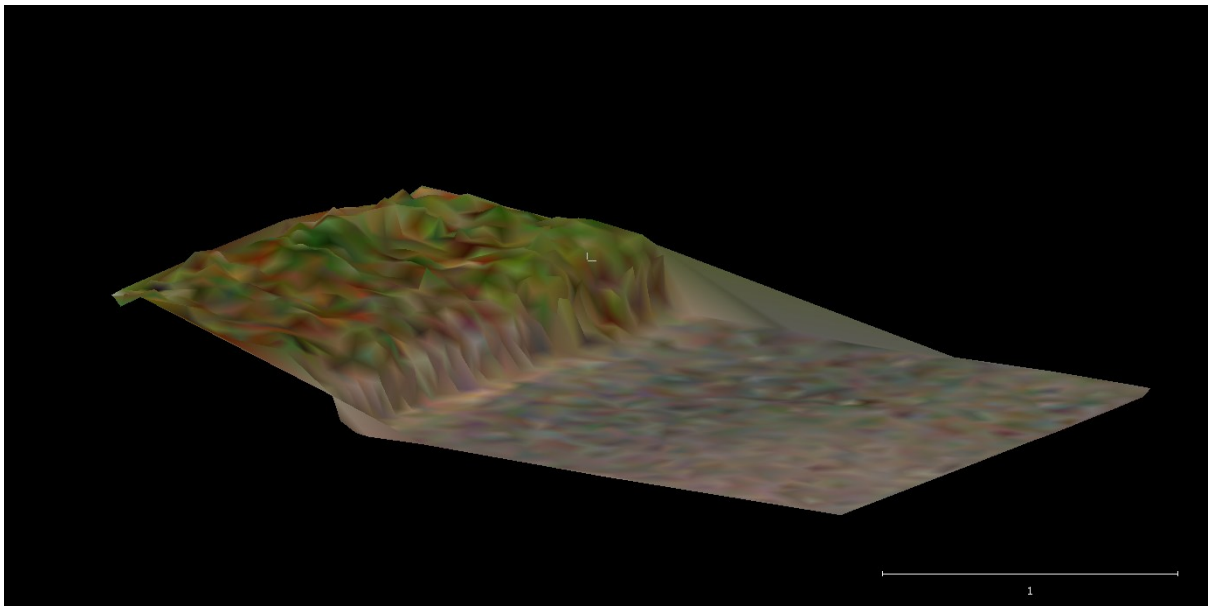
A pontfelhő kiértékelés fontos eleme, hogy a pontfelhőből vagy az azokból kiértékelt vektorokból felületet építhessünk. A legtöbb szoftver mindkettőre lehetőséget biztosít, azonban nagyon fontos figyelembe venni a pontfelhő tulajdonságait felület építés előtt. Egyes pontfelhők vagy túl zajosak vagy túl sűrűek ahhoz, hogy hatékonyan felületet építhessünk belőlük, így ezeket vagy ritkítani szükséges, vagy a belőlük kiértékelt vektorokból célszerű felületet építeni. Egy sűrű pontfelhőből készült felület (háromszög háló) túl sok felület építő poligont tartalmazhat, ami használhatatlanná tenné a

végterméket, illetve az esetleges pontfelhő hibákat (felszín alá esett pontok, víznyelőbe esett pontok, stb.) is nehezebb kiszűrni.



20. ábra Egy 2x3 méteres terület TIN hálója, nyers, magasabb kategóriás SLAM szkennerrel előállított pontfelhővel - a sok pont értelmezhetetlenül sűrűvé teszi a TIN hálót.

A felület építés általában a CAD szoftverekhez hasonló módon működik: kiválasztjuk a felület építéshez használt elemeket, törésvonalakat, pontokat, pontfelhőket stb., és a szoftver előállítja ezekből a háromszög (TIN) hálót, ami ezután más szoftverekben tovább használható.



21. ábra Ugyan az a 2x3 méteres terület, 0.05 centiméteres ritkításban CloudCompare-el generált TIN hálóval.

7.3.6 Automata és félautomata kiértékelés

A félautomata eszközök általában előre meghatározott szabályok alapján, valamennyi felhasználói bevitelt követően hajtják végre a feladatokat. A félautomata kiértékelők hasonlóak azokhoz a makrókhoz, melyek egy felhasználói bevitel után több lépést hajtanak végre, jellemzően geometriai szabályok alapján. Azonban míg az AutoCAD-ben jellemzően csak vektorok adják ezen folyamatok alapját, addig a pontfelhő kiértékelés során a pontfelhő pontjai és azok tulajdonságai (osztály, intenzitás, visszatérés sorszám, stb.) is segítik az automatákat.

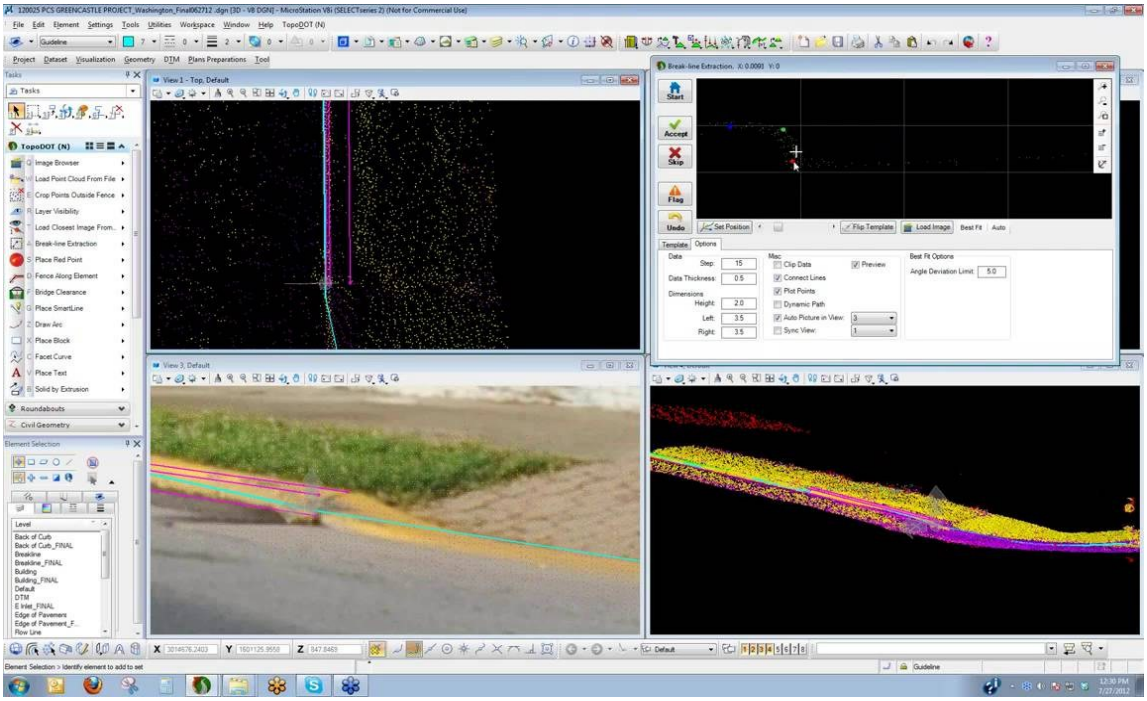
A legtöbb vektoros kiértékelő szoftver tartalmaz hasonló félautomata megoldásokat, mint fa kiértékelő, oszlop kiértékelő, sínszál kiértékelő, szegély kiértékelő, stb. Ezek az eszközök nagyban lerövidíthetik a kiértékelés időszükségletét.

Az automata kiértékelő eszközök - ideértve a mesterséges intelligencia (MI vagy AI) által támogatott eszközöket - egyre több szoftverben elérhetőek, hogy tovább gyorsítsák egyes elemek kiértékelését. Ezek az eszközök általános esetben egy konkrét elem kiértékelésére használhatóak, azonban az automatizmusok megbízhatósága megkérdőjelezhető, eredményüket minden esetben manuálisan ellenőrizni javasolt. Egy automata által elvégzett kiértékelés esetében is a mérnöknek kell vállalnia az elvégzett munka minőségéért a felelősséget, így fontos, hogy megbizonyosodjunk róla, hogy a kiértékelés az ügyfél elvárásainak megfelelő-e.

Mivel minden szoftver más és más eszközt kínál, nem lehet egységesen bemutatni ezeket, ezért általános példákat mutatunk be:

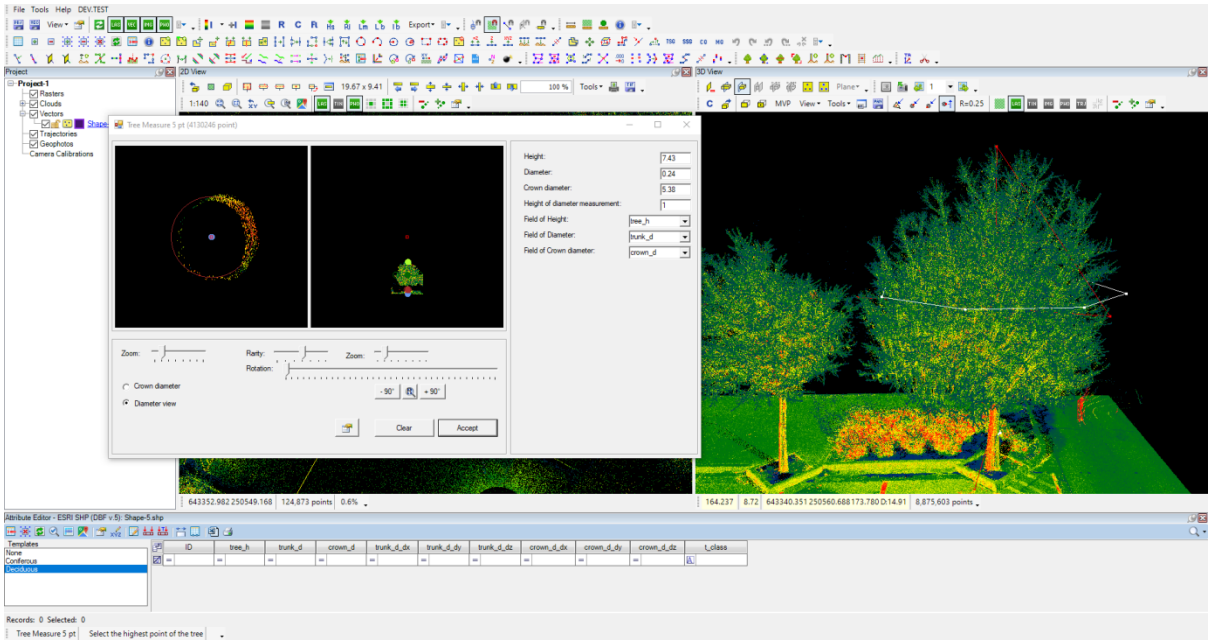
Oszlop kiértékelők - Az oszlopos elemek kiértékelését pontfelhőből több automata és félautomata megoldás támogatja. A félautomata megoldások gyakran az oszlopra történő kattintással határozzák meg az oszlop helyét, magasságát vagy átmérőjét. Az automata megoldások gyakran megkeresik az összes oszlopos elemet egy pontfelhőben, majd a felhasználó a megtalált elemeket elfogadhatja, vagy módosíthatja, vagy kiválaszthat minta elemeket, amelyek alapján az automata tovább szűri az elemeket.

Vonalas elem kiértékelők - Ide tartoznak a sínszál kiértékelők, szegély kiértékelők, kábel kiértékelők, stb. A félautomata megoldások általában valamilyen minta, vagy irány megadását követően a felhasználói paraméterek mentén automatikusan, vagy a felhasználó által megadott helyeken végzik el a kiértékelést egy vagy több elemre. Az automata kiértékelők a kiválasztott pontfelhőben kijelölt területen megpróbálják kiértékelni az adott elemet (kábeleket, szegélyeket, stb.). Egyes kiértékelések esetében a pontfelhő geometriája alapján kerül kiértékelésre a vektor (pl. elektromos kábelek), míg más esetekben a pontfelhő intenzitása alapján (vonalas felfestések).



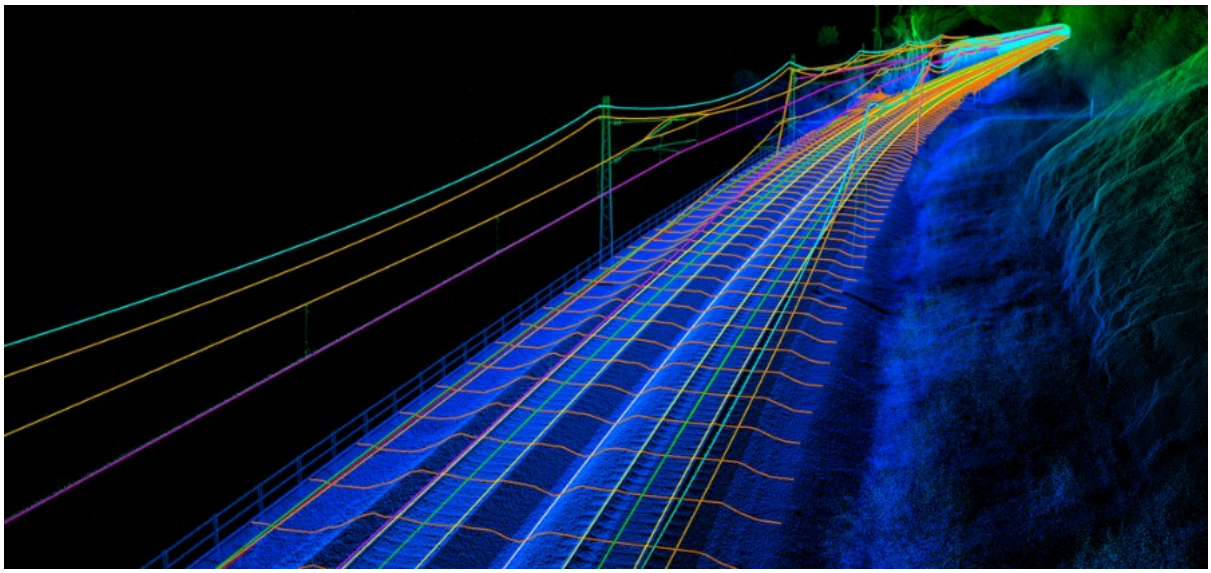
22. ábra Breakline Extraction (többvonalas kiértékelő eszköz) a TopoDOT-ban, szegély kiértékelés közben - Forrás: https://blog.topodot.com/1005-advanced-breakline-extraction/

Fa kiértékelők - fák helyének és geometriai tulajdonságainak meghatározása is lehetséges félautomata és automata megoldásokkal. Ezek egyre elterjedtebb megoldások, gyakran már az előfeldolgozó szoftverekben is elérhetőek.



23. ábra Fa kiértékelő eszköz GIS-kompatibilis attribútum tárolással - Forrás: https://pcswiki.digicart.hu/en/guides/tree_inventory

Felület építés - Egyes szoftverekben van lehetőség egyes speciális feladatokhoz kapcsolódó felületek építésére automata vagy félautomata megoldások segítségével (pl. automata útfelület vagy vasúti töltés)



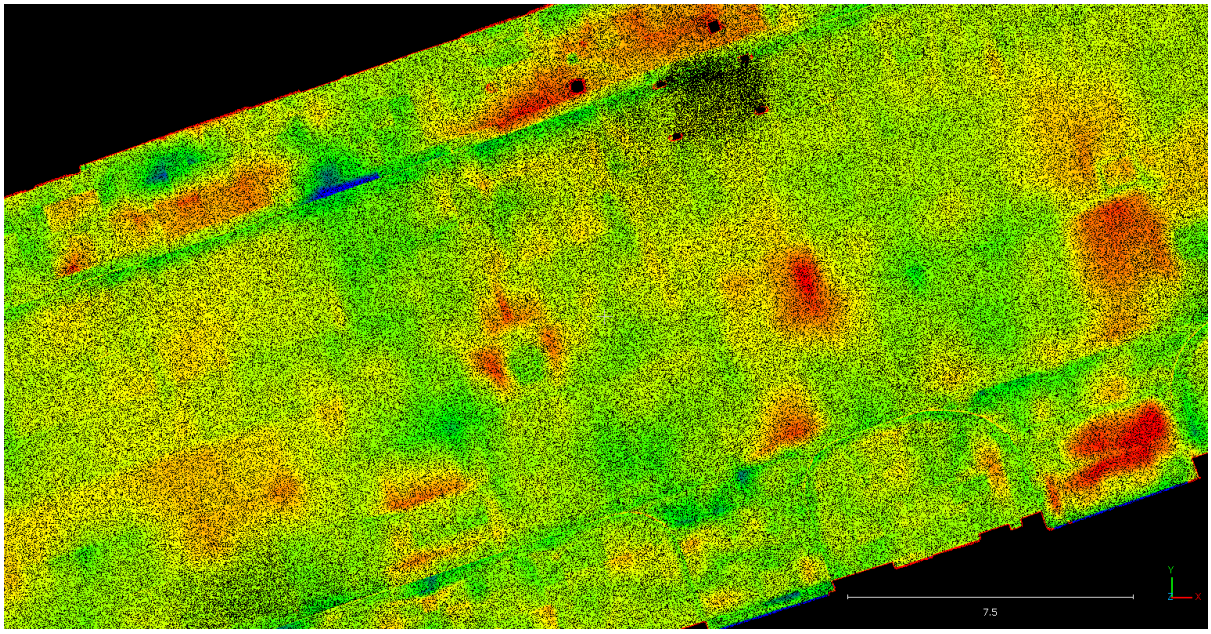
24. ábra Vasút kiértékelés automatikus eszközökkel TopoDOT-ban - Forrás: https://www.topodot.com/solutions/applications

A leírás a vektoros kiértékelésre fókuszál, azonban fontos megemlíteni, hogy automata és félautomata eszközöket pontfelhő osztályozásra is használhatunk egyes szoftverekben.

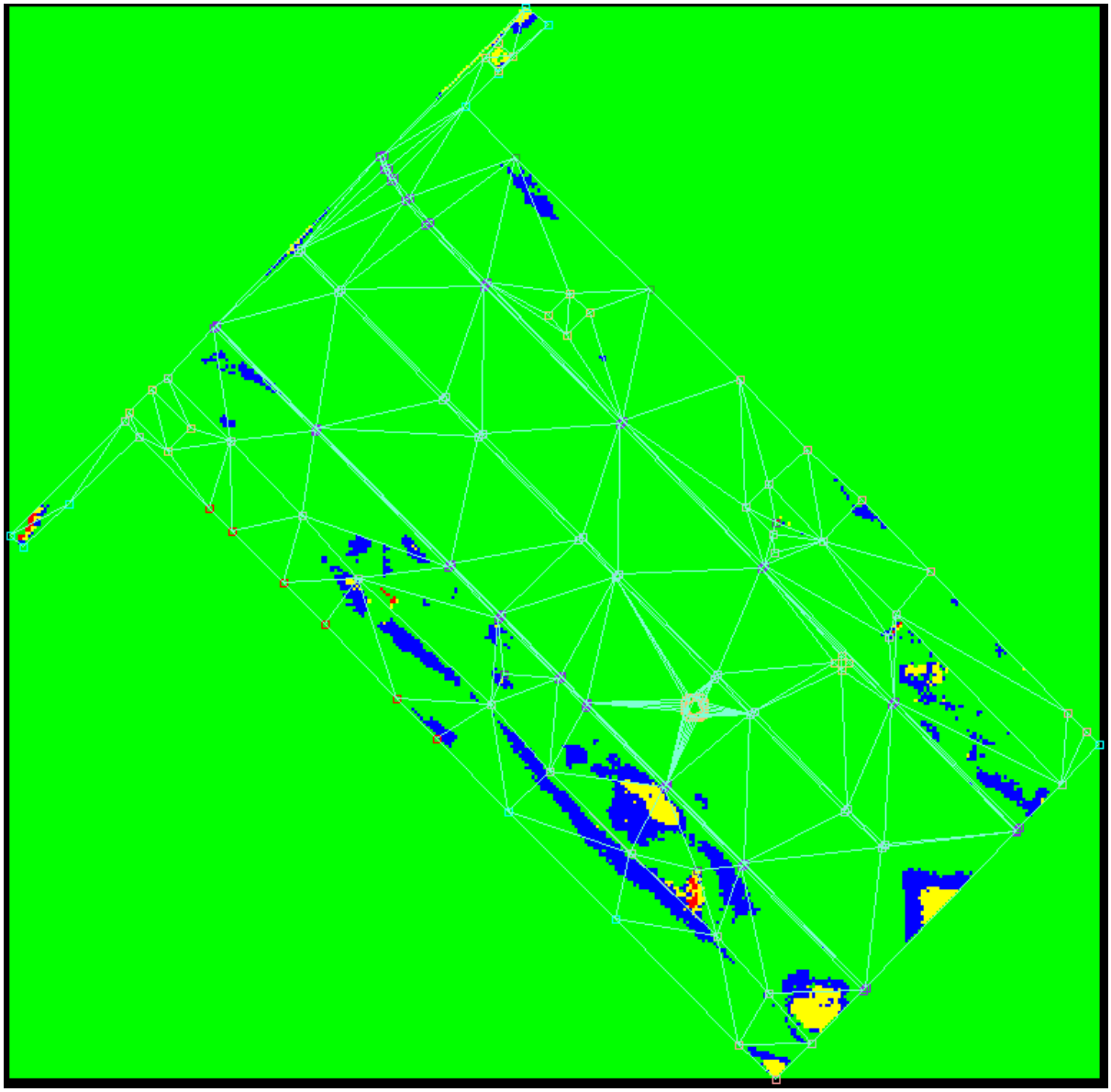
7.3.7 Felület-felhő különbség képzés

Az egyik leggyakrabban felmerülő kérdés a pontfelhő kiértékeléssel szemben, hogy hogyan bizonyosodhatunk meg arról, hogy a kiértékelt vektorok ténylegesen a pontfelhőn vannak, hogyan biztosítjuk a minőséget. Ezt leggyakrabban manuálisan ellenőrizzük, de létezik ezen felül is automatikus megoldás.

Amennyiben a vektorokból felületet építünk, a felület és a pontfelhő közötti magasságkülönbség ellenőrizhető automatikus módon. Több szoftverben is lehetséges ezt az eltérést raszteres formában vizualizálni, ahol a raszter egy pixeljét egy adott méretűre állítjuk (pl. 5x5 cm), és a raszter kép pixele a pontfelhő és az adott területre eső felület közötti magasságkülönbség mérete függvényében színezhető. A létrejövő raszter jól alkalmazható minőségellenőrzési célra vagy hibák detektálására és javítására.



25. ábra Vektor-pontfelhő különbség felhő a CloudCompare-ben - A háromszög háló és a pontfelhő különbség különböző színű pontokkal szemléltetett.



26. ábra Pontfelhő-felület különbség-raszter a PointCloudScene-ben – A háromszög háló és a pontfelhő különbség különböző színű pixelekkel szemléltetett.

8. A pontfelhők leggyakrabban előforduló hibái

A pontfelhők előállítása és használata során több olyan helyzet fordulható elő, ami miatt a végtermékben hibák jelenhetnek meg. Ezek nem minden esetben küszöbölhetőek ki, viszont ismeretük fontos a helyes kezelésük miatt. Ebben a fejezetben a leggyakrabban előforduló hibákra, deformitásokra vagy egyéb jelenségekre igyekszünk magyarázattal szolgálni, annak érdekében, hogy a felhasználó a megfelelő döntést hozhassa egy adott helyzetben. Ezeket a hibákat az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

- Felhasználói hibák
- Környezeti hibák
- Feldolgozási hibák
- Egyéb, a technológia sajátosságaiból adódó hibák

Mivel nem minden fajta szkenner produkál minden hibát, ezért a hibák bemutatásánál kitérünk arra is, mely típusú szkennerekre jellemző az adott hiba.

8.1 Felhasználói hibák

8.1.1 A szkenner mozgatása mérés közben - TLS

A szkennerek fajtái közül egyedül a TLS műszerek érzékenyek arra, ha mozgatjuk őket mérés közben, hiszen a többi típusú szkenner működésekor a szenzor vagy a platform egyébként is mozog. A földi szkennerek esetében - csak úgy, mint a mérőállomásnál - fontos, hogy a mérés közben ne mozduljon meg a műszer, hiszen ez tönkre teheti a feldolgozást. Amennyiben a műszer biztosan megmozdult az álláspont mérésekor, az álláspontot meg kell ismételni.

27. ábra Mérés közben megmozdított szkennerből exportált pontfelhő, jól látható a 'törés' a létrában.

A hiba elkerülésének legjobb módja, ha biztosítjuk, hogy a láb megfelelően van letaposva/rögzítve, és mérés közben kerüljük a műszerrel való fizikai kapcsolatot. Speciális feladatok igényelhetnek speciális állvány használatot. Közvetlen talajról, vagy talaj közelből végzett észlelésnél mindenképpen érdemes pillérállványt alkalmazni. Ez saját tömegénél fogva stabilan tartja a mérőrendszert, esetleg az eszköz felborulásának esélyét. Közvetlen műszertalppal földre helyezni 3D-szkennert a fentiek kivédése érdekében nem szabad.

8.1.2 Nem megfelelő útvonal választása - MLS, ALS, ULS, SLAM

A kinematikus mérések esetében mindenképp figyelembe kell venni az adott szenzor típushoz tartozó gyártói ajánlásokat, annak érdekében, hogy a megfelelő eredményt kapjuk. A legnagyobb veszélyt ebben a típusú hibában az jelenti, hogy a nem megfelelő útvonalon vagy irányelvek mentén mért felhő esetenként nem feldolgozható vagy hibás eredményt ad, amely során elveszthetünk részleteket vagy akár a pontosságot is. Ebben a kérdésben csupán ajánlásokat tudunk megfogalmazni:

Kerüljük a hirtelen irányváltást, a kormány/eszköz rángatását, a hirtelen irányváltás minden esetben rontja az IMU pontosságát

Egyes szenzorok esetében fontos, hogy a trajektória metssze egymást helyenként, SLAM szkennerek esetében 'be kell zárni a hurkot'. A hurkok lezárásának elhagyása vagy túl nagyra vétele ugyanúgy feldolgozhatatlanná tehet egy projektet, ezért mindig kövessük a gyártói utasításokat

Amennyiben a szenzor támaszkodik aktívan GNSS mérésre is (tehát nem csak IMU-val rendelkezik, vagy nem csak lokális rendszerben mérünk), abban az esetben a GNSS mérés minősége alapvetően befolyásolja majd a készülő pontfelhő minőségét. Természetesen ezen illesztő pontok mérésével van lehetőség javítani, de ha a méréskor nem figyelünk az alapvető GNSS pozíció minőségre, az feldolgozhatatlanná vagy rossz minőségűvé teheti a mérésünket. Hosszú kitakarások, alagutak, tető alatti mérések vagy az ionoszférikus hatás alapvetően befolyásolhatja a mérésünket.

Egyes szenzorok esetében vannak olyan 'mozgások' vagy helyszínek, ahol a nem megfelelően tagolt mérés feldolgozhatatlanná teszi az eredményt. Például az MLS mérések során a körforgalmak vagy az Y fordulók kifejezetten gyakran okoznak nehézséget a feldolgozás során, amennyiben a mérés vagy a platform mozgása nem átgondolt.

8.2 Környezeti hibák

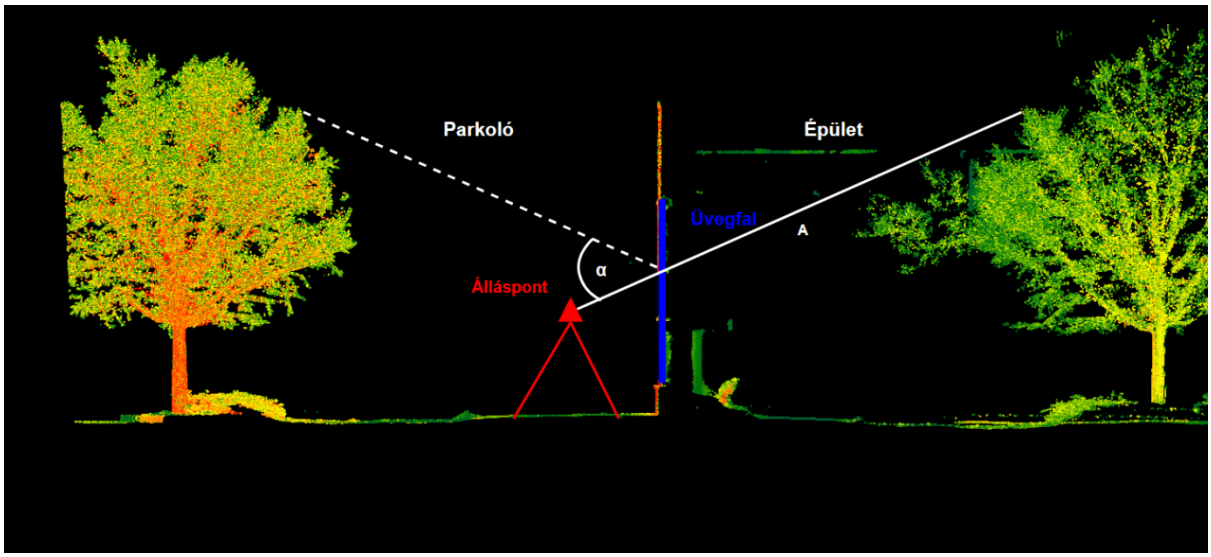
A környezeti hibák csoportjába olyan helyzeteket vagy jelenségeket sorolunk, melyek a szkennelés során direktben hatnak a mérésre, így pedig a végterméket is befolyásolják. Gyakran azonban nincs lehetőségünk arra, hogy a környezeti körülményeket megváltoztassuk, ezért hasznos, ha ismerjük ezeket a hatásokat, hogy a feldolgozás során kezelni tudjuk őket.

8.2.1 Tükröződések - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM

A tükröződés minden szkennert érinthet, a távmérő szenzor típusától (időméréses, fázisméréses) függetlenül. A tükröződés leggyakrabban olyan szkennereknél jelentkezik, amelyek képesek egynél több pontot meghatározni egyetlen kibocsájtásból. Ebben az esetben az történik, hogy a kilőtt lézersugár olyan felületet talál el, amely tükörként viselkedik (például teljes üveg falas épületek). Ebben az esetben a lézer útvonala megtörik, és ezen a megtört úton halad tovább, majd ugyan ezen a megtört útvonalon jut vissza a szkennerbe. A műszer megméri a távolságot, azonban azt, hogy a sugár eltért az eredeti pályájától, már nem képes meghatározni, ezért a létrejövő pont nem a tényleges helyén jön létre, hanem a tükröző felület mögött. Ez könnyen megzavarhatja a

tapasztalatlan felhasználókat, vagy egyes automata kiértékelő eszközöket, mivel egyes kiértékelendő elemekből egy hamis duplikátum jön létre ott, ahol annak nem szabadna lennie.

A tükröződés elméletben minden típusú szkennernél előfordulhat, de legritkábban az ALS és ULS mérések esetében tapasztalhatjuk, mivel a lézersugár általában fentről érkezik, így ritkábban fordul elő olyan visszaverődés, ami ilyen fals pontokat eredményezne, illetve a légi hordozóra szerelt szkennerhez tartozó szoftverek az egyszerűbb matematikai kötelmek miatt hatékonyabban szűrik ezeket a hibákat.



28. ábra A tükröződés vizualizációja - Az épület üvegfala α szöggel megtöri a lézer haladási irányát, amely az új irányról is visszaverődik, de a szkenner nem tudja regisztrálni a törést, csak a távolságot tudja megmérni, és az eredeti irány szerint helyezi el térben a pontot, amely így a fát az épületen belülre hozza létre.

A tükröződés ellen nem lehet alaposabb felkészüléssel védekezni. Egyes szkennerek szoftveresen jobban fel vannak készítve az ilyen helyzetekre méréskor, más rendszerek esetében az utófeldolgozó szoftver hatékonyabban tudja szűrni a reflekciókat. A tükröződött objektumok visszaverődési intenzitása mindig alacsonyabb, lásd a képen, ahol az eredeti fa intenzitása sokkal erősebb (pirosabb) mint a tükröződő fáé (zöldebb). Amennyiben a feldolgozáskor tudható, hogy a mérés nagyobb üvegfelületek mellett történt, javasoljuk a felhasználóknak, hogy különös tekintettel legyenek a kiértékeléskor ezekre a jelenségekre. Amennyiben ezek zavaróak, vagy az ügyfél kérése, hogy ezeket távolítsuk el, úgy osztályozással (utófeldolgozó szoftverben vagy egyéb eszközzel) helyezzék át a tükröződő pontokat a zaj osztályba (a szakmai gyakorlatban ez a 7-es osztályt jelenti), amelyet ezt követően ki lehet kapcsolni, vagy enélkül újra exportálni a felhőt.

8.2.2 Víz, vizes felületek, hó, köd - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM

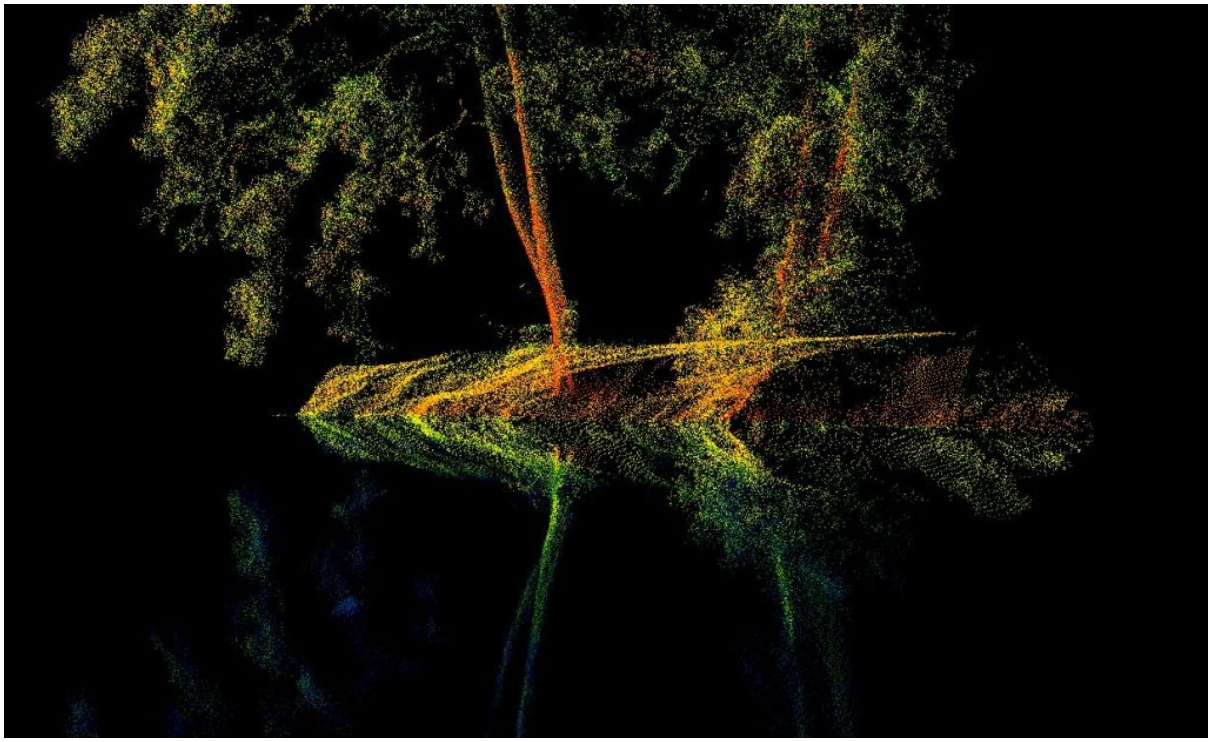
A lézerszkenneres méréseket leggyakrabban terhelő hiba a vízhez kapcsolható. A lézerszkennerek többsége ugyanis időméréses távmérési megoldást használ, ahol a hordozó infravörös hullámot a víz részben vagy egészben el tudja nyelni, így pedig a mért pontfelhő intenzitása vagy a pontok száma csökkenhet. Ezen felül a víz és vizes felületek képesek egy bizonyos beesési szög esetén a fentebb említett tükröződő hatást elérni, vagyis a vízfelület is képes tükörként viselkedni.

A jelenség a szkennerek közül az ALS rendszerekre, illetve az eredendően is víz alatti mérésre tervezett batimetriai zöld lézerrel szerelt rendszerekre kisebb hatással bír.

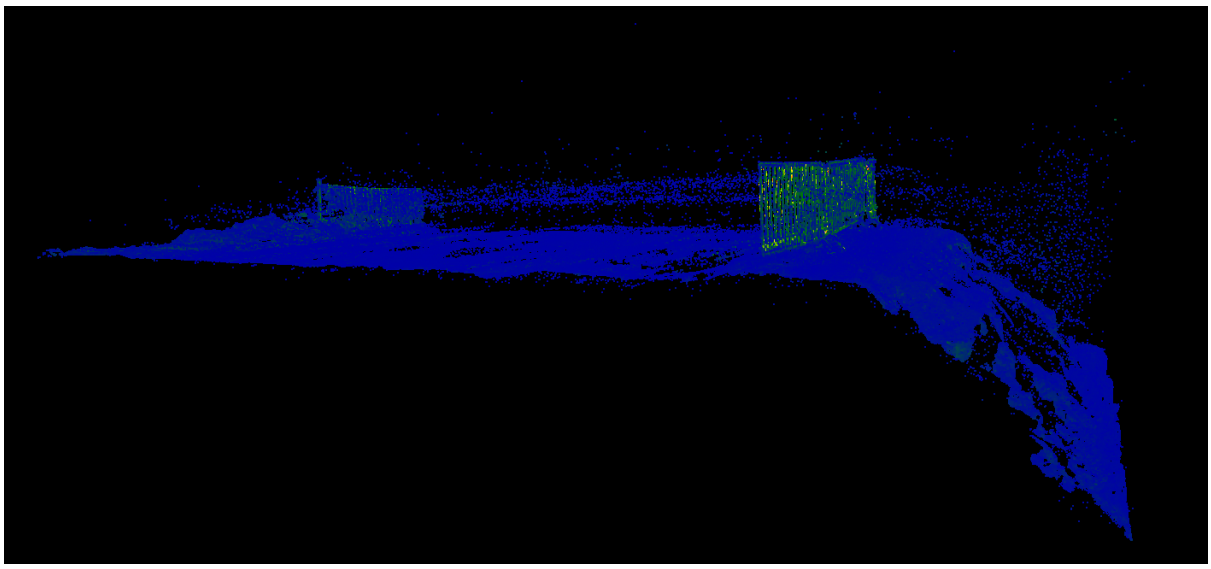
Abban az esetben, ha a víz mellett szükséges mérni, ez nem elkerülhető, azonban, ha van rá lehetőség, a pontfelhő minőségét jelentősen javítja, ha eső után nem azonnal megyünk mérni, hanem megvárjuk, hogy megszáradjon a környezet.

Amennyiben a felszínt hó borítja, a helyzet egy kicsit más. A hó nagyon ritkán viselkedik tükörként, azonban a visszaverődési intenzitása nagyon alacsony lesz, és a mérés amúgy sem éri el az eredeti célját, ha a hó alatti felszín felmérése a cél, ezért a hóban való mérés is ellenjavallott.

Ködben kifejezetten ellenjavallott mérni, mivel a szálló vízrészecskék diffúz visszaverődése miatt a szkenner nagyrészt zajt fog rögzíteni, amely nagymértékben megnehezíti a kiértékelés elvégzését. Száraz időben az erősen poros, szmogos területen történő mérés is hasonló pontfelhőt eredményez.



29. ábra Vízparton látható tükröződés - A tapasztalatlan felhasználó esetlegesen hibásan határozza meg a vízszintet, és a felelőtlenül használt drape funkció is problémát okozhat egy ilyen helyzetben. Csak úgy, mint a tükröződésnél, a tükörkép intenzitása sokkal alacsonyabb, így tényleges vízszint abban a magasságban található, ahol az intenzitás tartományok váltanak.



30. ábra Esős, vizes időben mért pontfelhő - Látható, hogy az esőcseppek fals pontokat hoznak létre, és az egész felhő intenzitása alacsony – A fals pontok a felszín felett láthatóak, bogárrajra emlékeztető elrendezésben.

Általános érvényűen elmondható, hogy minél rosszabb egy szkenner érzékenysége, annál gyakrabban fordul elő az, hogy a víz elnyeli a lézert, míg érzékenyebb szkennerek esetében inkább zaj, tükröződés, vagy alacsony intenzitású pontok jelennek meg.

8.3 Feldolgozási hibák

8.3.1 Szellemképes pontfelhő - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM

A szellemkép az a hiba, amellyel a legtöbb lézerszkenneléssel foglalkozó szakember a leggyakrabban találkozik. Ebben az esetben arról van szó, hogy az egyes álláspontok vagy rekordok, mérési sorok közötti kiegyenlítő számítás során a hiba nem minimalizálható, ezért a különböző álláspontokból vagy trajektória szakaszokból számított pontok nem esnek "egymásra", nem illeszkedik szépen egymáshoz a különböző álláspontok vagy rekordok azonos helyre eső pontfelhője, XY vagy Z dimenzióban akár több centiméterrel sem.

A szakmában nincs egységes megközelítés arra vonatkozóan, hogy milyen vastag pontfelhőt tekintünk szellemkép mentesnek, de tapasztalati úton az alábbi ajánlást tudjuk megfogalmazni:

- TLS, MLS, SLAM felhők esetében 1 centiméter pontfelhő vastagság alatt
- ULS felhők esetében 2-3 centiméter pontfelhő vastagság alatt
- ALS felhők esetében 5-10 centiméter pontfelhő vastagság alatt

Ugyanakkor az elfogadható eltérés (szellemkép) mértéke erősen függ a mérés, kiértékelés céljától is. A szellemkép legnagyobb veszélye, hogy a felhasználó nem tudja eldönteni, hogy a kiértékelés során melyik "réteget" használja, hiszen nincs információnk arra, hogy a két vagy több "réteg" pontfelhőből melyik is a pontos réteg, melyik mutatja az objektumot a valódi helyén.

A szellemképek megszüntetése az előfeldolgozás része, amikor a nyers mérést egymáshoz és/vagy abszolút rendszerbe (pl. ETRS89 vagy EOV) illesztjük. A különböző szkennerek és szoftverek erre különböző megoldásokat használnak, de a kiegyenlítő számítás alapelvei itt is érvényesülnek. Nem tudunk, és nem is szeretnénk egységes ajánlást adni arra, hogyan kell ezeket egyes szoftver környezetekben megszüntetni, helyette gyakorlati tanácsokkal szeretnénk segíteni a kollégákat, hogy a hatásokat méréskor vagy az utófeldolgozáskor csökkenteni tudják.

<u>TLS rendszerek esetén:</u>

A TLS mérés relatív összerakása (álláspontokat egymáshoz) során figyelni kell, hogy az álláspontok közt legyen átfedés. Egyes rendszerek a beépített IMU alapján tudnak "tájékozódni", és ez segíti a feldolgozó szoftvert az összerakásban, más rendszerek pedig megkövetelik, hogy álláspontonként legyen egy adott számú átfedő illesztő pont.

A TLS mérés abszolút rendszerbe illesztése során fontos, hogy kellő számú illesztő ponttal rendelkezzünk. Ha a relatív rendszer már stabil volt, az abszolút rendszerbe illesztéshez szükséges pontok számát érdemes egy mérőállomással mért sokszögvonalhoz hasonlítani: ha a felhő csak egyik oldalán van illesztő pont, az egész felhő "el tud billenni" a másik irányba.

A TLS mérések esetében a szellemképesség leggyakrabban feldolgozási hibára utal, például: falak hibás illesztése, átfedés hiánya, és illesztőpontok hibás elnevezése

MLS rendszerek esetében:

Az MLS rendszerek esetében a feldolgozás általános esetben utófeldolgozásos, melyhez bázis adatra van szükségünk. A méréskori GNSS pozíció és a bázis adat minősége alapvetően befolyásolja, hogy szellemképes lesz-e az elkészült pontfelhő. Amennyiben a feldolgozás során a mérésből nem lehet megszüntetni a szellemképet abban az esetben célszerű terep-felhő azonos illesztőpontokat (sarkos elemek, felfestések sarka, betonlapok sarka, stb) mérni, és ezeket, mint kényszer, felhasználni a kiegyenlítéskor, hogy megszüntessük a szellemképességet. Egyes rendszerek képesek illesztő gömbök vagy síkok használatára is, ezekkel is extra kényszert alkalmazhatunk a kiegyenlítésre.

MLS rendszerek esetében mindenképpen fontos követni a gyártói ajánlásokat a mérés elvégzéséről, mivel különböző rendszerek különböző dolgokra lehetnek érzékenyek. Természetes környezetben gyakoribb a szellemkép előfordulása mint épített közegben, mivel utóbbi esetében vannak minden irányban síkfelületek, amiket a kiegyenlítés fel tud használni.

ALS rendszerek esetében:

Az ALS feldolgozás során van a legkisebb valószínűsége a szellemképek előfordulásának, mivel ebben az esetben feltételezzük a jó GNSS vételt. Természetesen hibás feldolgozás esetén a repülési sorok között előfordulhatnak szellemképek. Itt is elmondható, hogy természetes környezetben gyakoribb a szellemkép előfordulása mint épített közegben.

ULS rendszerek esetében:

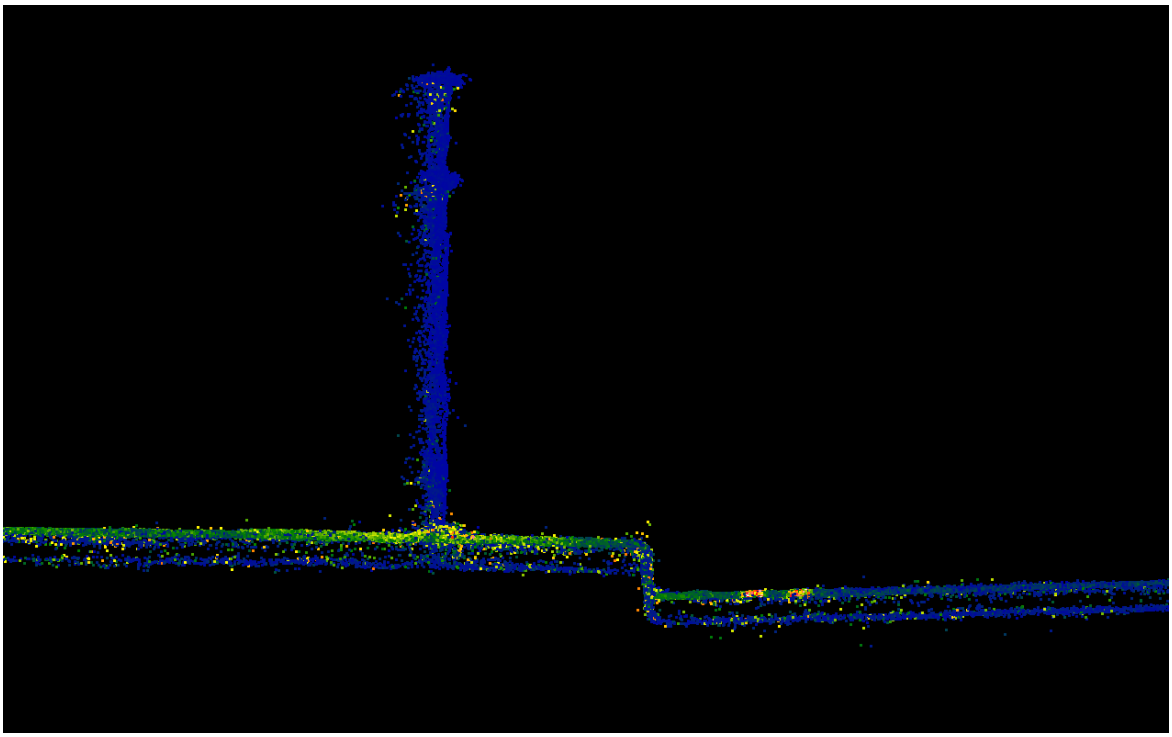
Az ALS-hez hasonlóan itt is kisebb a valószínűsége a szellemképesedésnek, mivel a GNSS vétel itt is jó, azonban a technológia sajátosságai miatt itt nagyobb erre az esély, mint az ALS esetében.

Az ULS szenzorok esetében a magasság függvényében magasabb az esélye a szellemkép képződésnek a távmérési megbízhatóság csökkenése miatt. Az ALS esetében a lézer sokkal erősebb, így stabilabb a távmérés minősége, ULS esetében azonban a magasság

jobban befolyásol, így egy felszíni síkfelület is eredményezhet “vastagabb” pontfelhőt, többszöri elhaladás esetén pedig szellemképesedésre is hajlamosabb, vagy a pontfelhő vastagsága az ajánlotthoz képest nagyobb, ami megnehezítheti a kiértékelést.

SLAM rendszerek esetében:

A SLAM algoritmus eltér a hagyományos kinematikus kiegyenlítéstől, mint amilyen az MLS. Míg az MLS algoritmus a trajektóriát mozgatja egységesen, addig a SLAM algoritmusok kapcsán az a tapasztalat, hogy ugyan folyamatos, ám nem feltétlenül egyeséges regisztrációt és mozdítást alkalmaznak a pontfelhőben. Így használatukkor könnyebben jöhetnek létre ismétlődések, szellemképek. A SLAM szkennerek fizikai méreteik miatt nem tudnak olyan pontosak lenni, mint egy TLS vagy MLS rendszer, hiszen nem tudnak olyan méretű és pontosságú IMU-t vagy GNSS vevőt beépíteni az eszközbe, amely garantálhatná a magasabb rendű pontosságot, így ezek a rendszerek - különösen a szkennelési tengelytől távolabb - hajlamosabbak a szellemképesedésre.



31. ábra Szellemképes pontfelhő.

8.3.2 Export hibák - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM

A feldolgozó szoftverek sok esetben követnek el hibát az export során, melyek leggyakrabban nem feltűnőek, vagy nem okoznak problémát az alap szintű felhasználók számára, azonban komolyabb folyamatok esetén kellemetlen meglepetéseket tudnak okozni. A felsorolt hibák nem rendszer vagy gyártó specifikusak, de a hibák ismerete minden rendszer esetében hasznos lehet.

A leggyakoribb export hibák:

Hibás LAS fejléc kiírás - Mivel a LAS fájl a leggyakoribb pontfelhő adatcsere formátum, ezért alapszintű ismerete fontos. Sokszor fordul elő több rendszernél és gyártónál is, hogy az exportált LAS fájl hibás, aminek fő oka a felhő kiterjedésének (extent) hibája. Az exportált pontfelhők befoglaló téglatestnek sarok koordinátáit az exportkor a szoftverek beleírják a LAS fájl fejlécébe (header-jébe). Azonban gyakran előfordul, hogy a ténylegesen kiírt pontok ezen a téglatesten kívül esnek, vagyis a fejlécben meghatározott befoglaló hibás. Több szoftver is hibaként tudja ezt értelmezni. Amennyiben ez előfordul, érdemes az elő- és utófeldolgozó szoftver terméktámogatását felkeresni a hiba miatt.

Hibás adatkiírás LAS fájlba - A LAS fájl minden pontról tárol különböző paramétereket, melyek alapján a szoftverek képesek megjeleníteni a pontfelhőt, például az intenzitást, visszaverődés számát, a pont színét, stb. Esetenként előfordul, hogy a kiírás nem megfelelő helyre írja ki az értéket, például az intenzitás kerül a valós szín (RGB) helyére. Ha nem azt látjuk a képernyőn, amire számítunk, érdemes a további megjelenítési beállításokat is kipróbálni. Szintén előfordulhatnak olyan hibák, amikor a LAS fájlba íráskor egyes attribútumok nem kerülnek beírásra, vagy a szoftver, amiben használni szeretnénk őket, nem tudja azokat a megfelelő módon kezelni.

Ritkítás hiba - Ezt a hibát nem feltétlen soroljuk a hibák csoportjába, azonban felhasználói szemmel hibának tűnhet. A pontfelhő exportkor több szoftver felajánlja a felhasználónak, hogy ritkítja a pontfelhőt. Ezek a ritkító algoritmusok azonban esetenként szabályos rácsban, a magasság vagy a pontfelhő sűrűségének figyelmen kívül hagyása mellett végzik el a ritkítást, így a felhasználó arra a következtetésre juthat, hogy hibás az export. Ha a ritkítás után hibás felhőt látunk, érdemes a teljes sűrűségű felhőt is kiexportálni, hogy lássuk, tényleg ez volt-e a hiba.

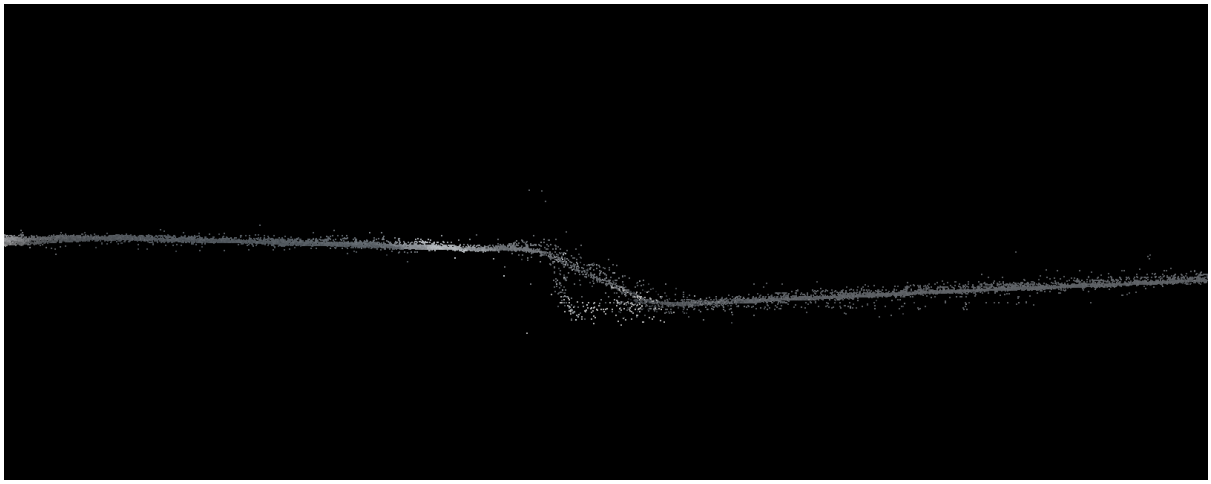
PTS kiírási hiba - A PTS egy szöveg alapú formátum, amely vesszővel elválasztva, pontonként egy sorban tárolja a pontfelhő pontjait. A legtöbb szoftver tudja olvasni és konvertálni is. A PTS fájl első sorában azonban egy szám található, amely megmondja, hogy pontosan hány sor van a PTS fájlban. Ha ez a szám nem egyezik a tényleges sorok számával, a PTS fájlt egyes szoftverek nem fogják tudni olvasni. Leggyakrabban a PTS kiírásakor a fájl végén extra sorok jelennek meg, és ezek az üres sorok is beleszámítanak az első sorban lévő számba, mivel azonban üresek, és az exportkor csak a tényleges pontoknak megfelelő számú sort vette figyelembe a szoftver, hibát kapunk. Ilyenkor töröljük a felesleges sorokat, és biztosítsuk, hogy tényleg annyi sort tartalmaz a fájl, amennyi az első sorban meg van írva.

8.4 Egyéb, a technológia sajátosságaiból adódó hibák

8.4.1 “Pont túlfutás” - TLS, MLS, SLAM

A “pont túlfutás” nem hivatalosan elfogadott kifejezés, azonban remekül leírja a hibajelenséget. Ez a hiba a technológia sajátja, nem minden esetben fordul elő, és kivédeni sem lehet, de hatása alapos méréstervezéssel és a mérés körültekintő végrehajtásával csökkenthető.

A hiba lényege, hogy ha egy lézerjel egy élet - például egy szegélyt - egy megfelelően hegyes szögben talál el, az élről való visszaverődés egy sor fals pontot hoz létre, kvázi túlfut az él. Ezek a pontok intenzitásukat tekintve megegyeznek a környezetükkel, így a gyakorlatlan felhasználó azt feltételezheti, hogy itt rámpával van dolga. Ha ilyen helyzetet látunk a felhőben, például szegély rajzolásnál, győződjünk meg róla, hogy tényleg ott olyan a felszín, amilyennek a felhőből látjuk, és ha nem, interpoláljuk a magasságot.



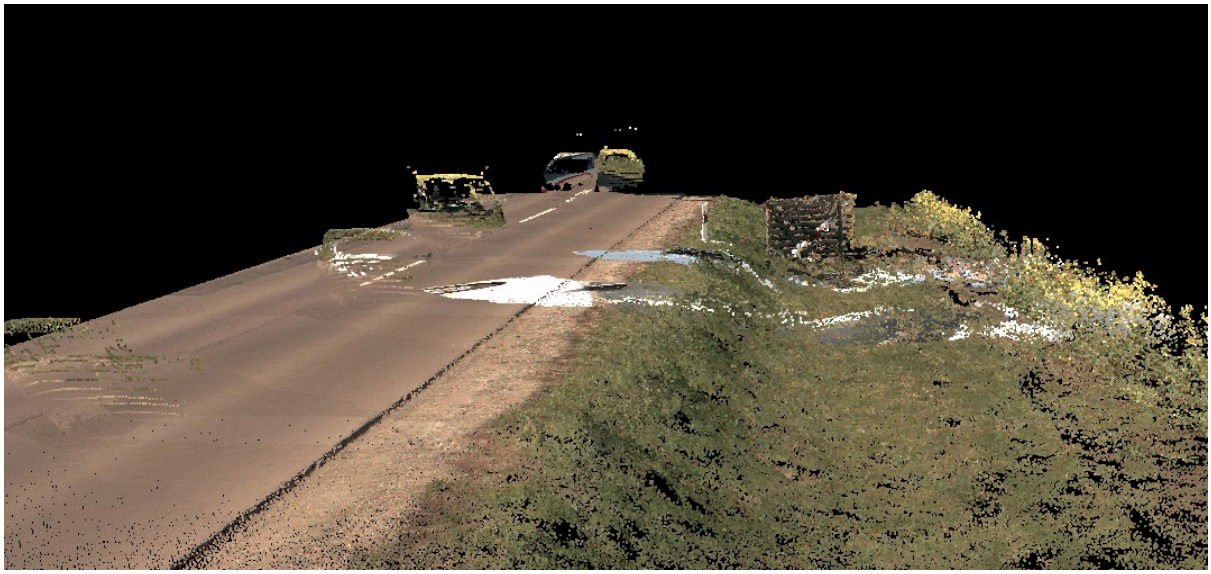
32. ábra Pont túlfutás szegélyen - Ezen a helyen két oldalról is meg lett mérve a szegély, így látható, hogy ha hátulról mértük volna, akkor rámpaként értelmezhettük volna a szegélyt, de mivel szemből is meg lett mérve, a valódi forma is kivehető.

33. ábra Perspektív nézetben a tapasztalatlan felhasználó rámpaként értékelhette volna ki ezt a szegélyt.

Bár a pont túlfutás a TLS, MLS és SLAM szkennerekre is jellemző, a SLAM szkennerek esetében sokkal gyakrabban fordul elő, de ez nem feltétlen csak típus függő. A TLS szkennerek közt is vannak olyan eszközök, amelyek gyakrabban produkálják ezt a hibát, mint társaik. A hiba gyakrabban és erőteljesebben jelentkezi az egyszerűbb rendszereknél, ahol a kilépő lézerfolt átmérője és divergenciája (széttartása) is nagyobb.

8.4.2 Színezési hibák - TLS, MLS, ALS, ULS, SLAM

A pontfelhők mérésekor általános esetben a rendszer készít fényképeket, melyek elengedhetetlenek a színes pontfelhők előállításához. A színezéskor a feldolgozó szoftver helyreállítja a vetítési állapotot, és a lézersugár egyenesével átdöfi a képet, és az átdöfött pixel RGB kódja segítségével színezi ki a felhőt. Azonban ahogy a környezet vagy a platform mozog, a szkennelt felhő és a képek nem minden esetben lesznek szinkronban. Például a kamera készít egy képet egy mozgó kerékpárosról, azonban, ha a lézer előbb vagy később rögzíti az adott helyen a pontot, és a kerékpáros már tovább haladt, a kerékpáros képe “rávetül” az útfelületre.



34. ábra A mozgó autók szkenje, és a képük a talajon és a fűvön.

A színezés ilyen hibáit általában csak nagyon sok manuális munkával lehet javítani, mely során kézzel kell kiválasztani az egyes pontfelhő szakaszok színezésére felhasznált képeket. Az automatikus színezés ugyanis a legközelebbi képet használja színezésre, és nem "figyeli" a közbenső objektumokat. Amennyiben az ügyfél színes pontfelhőt szeretne, és ezektől a hibáktól mentes adatot szeretnénk szolgáltatni, érdemes olyan időszakot választani, amikor biztosítható, hogy nem lesz mozgás a területen és a fényviszonyok (természetesen vagy mesterségesen) optimálisak a mérés elvégzésére.

9. Mellékletek

9.1 Kifejezéstár

Kifejezés	Jelentés	Magyarázat
5G / 6G	5th generation, 6th generation	Mobil adatátviteli technológiák legmodernebb, legújabb generációi
AI	Artificial Inteligence	Mesterséges intelligencia. Jellemzően valamilyen tanulóalgoritmuson alapul, mely tanulóadatokkal kiképezve képes nagy adatmennyiségek értelmezésére, feldolgozására (pl. villanyoszlopok kikeresésére a pontfelhőből)
ALS	Aerial Laser Scanning	Légi lézerszkennelés - jellemzően a nagygépes, és nem a drónszkennelést értjük alatta
AR	Augmented Reality	Kiterjesztett Valóság - Vizualizációs technológia, a valóságra vetít rá digitális információkat - pl. egy tablet kamerája által felvett és kijelzett képre rávetíti a föld alatti közműveket a 3D digitális adatokból.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Szövegfájl formátum. Egyszerű, nem kell speciális olvasó, dekóder, de nem tömör, ugyanaz az adat sokkal több helyet foglal, mint egy bináris fájlformátumban
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing	Amerikai Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság
Attitude		Helyzet. A térben elfoglalt helyzet - nem azonos a pozícióval. A pozíció 3D koordináta, a helyzet pedig egy térbeli derékszögű

		koordinátarendszer tengelyeihez képest mért 3 elfordulási szög.
Bázisállomás	Base Station	Ismert koordinátájú ponton működő GNSS vevő (l. CORS)
BeiDou	BDS= BeiDou Navigation Satellite System	Kínai helymeghatározó rendszer. Globális, bár egyes holdjai a QZSS rendszerhez hasonlóan speciális pályán mozognak, mindig Kína felett tartózkodnak, így növelve az egyszerre "látható" navigációs műholdak számát.
Bundle Adjustment	Kötegelt kiegyenlítés	Fotogrammetriai feldolgozási technológia (kiegyenlítés), mely egyszerre optimalizálja az objektum 3D koordinátáit, a kamera pozícióját és helyzetét, valamint a kamera kalibrációs paramétereit, úgy hogy egyszerre több fényképen is minimalizálja a vetítési hibákat.
CAD	Computer Aided Design	A számítógépes tervező rendszerek összefoglaló neve (AutoCAD, MicroStation, stb.)
CLASS	Osztály	Osztály. A pontfelhő elemzésével a lézerpontokat különböző osztályokba sorolhatjuk (Zaj, Talaj, Épület, növényzet, stb.)
CLASSIFICATION	Osztályozás	Az osztályba sorolás folyamata
CORS	Continuously Operating Reference Station	Folyamatosan működő GNSS referencia állomás
Digital Twins		Digitális ikrek - digitális másolata egy terepi objektumnak, mely a valódi objektum "minden" tulajdonságát hordozza
Divergencia	Divergence= széttartás	A lézersugár sem tökéletesen fókuszált, a kilépő átmérőjéhez képest a távolság függvényében nő az átmérője,

DMI	Distance Measuring Instrument (Indicator)	Távolságmérő, vagy kerékszenzor (kerékelfordulás mérő). Sokkal pontosabb, mint a a GNSS mérésből származó adat, kiegészíti a tehetetlenségi navigációt (IMU)
Dómszkenner	Dome scanner	A saját zenitjét is mérni képes állószkenner. Nem minden szkenner képes erre, egyes "szektorszkennerek" csak bizonyos határok között képesek a horizontnál mélyebben-magasabban levő területek mérésére, pl. -35° és +65° között, ami 100°-os nyílásszöget jelent
Drape		2D vagy perspektív nézetből megrajzolt vonalak, beszúrt objektumok vetítése, ráfeszítés egy 3D pontfelhő valamely tulajdonságú pontjaira (pl. legalacsonyabb pontokra, talajpontokra, stb.)
DSM	Digital Surface Model	Digitális felszínmodell, tartalmazza a növényzetet és a mesterséges objektumokat is.
DTM	Digital Terrain Model	Digitális terepmodell (csak a "talajpontok"), nem tartalmazza a növényzetet és a mesterséges objektumokat.
ECEF	Earth Centered Earth Fixed	Földközéppontú, Földhöz rögzített térbeli derékszögű koordinátarendszer, Z tengelye egybeesik a Föld forgástengelyével, az X-Y tengelyek által meghatározott sík az Egyenlítő síkja, A Z-X tengelyek által meghatározott sík átmegy a Greenwichi (0°) kezdőmeridiánon
Ellipszoid	Ellipsoid	A Föld alakját matematika alakzattal helyettesítő forgástest
Ellipszoidi magasság	HAE	Ellipszoid feletti magasság (Height Above Ellipsoid)) A Föld alakját matematika alakzattal helyettesítő forgástest felszínétől mért távolság. A víz nem biztos, hogy a kisebb értékű pont felé folyik, mert a nehézségi erőtér szintfelületével az ellipszoid nem mindenhol párhuzamos. Különbözik az ortométeres magasságtól, melynek

		referenciafelülete a nehézségi erőtér szintfelülete.
Epoch rate	GNSS adatsűrűség	A GNSS vevő által rögzített adatok gyakorisága. Az ingyenes bázisadatok általában 30, vagy 60 sec gyakoriságúak
GCP	Ground Control Point	Terepi illesztőpont
Geoid	Geoid	A Föld valódi alakja, a nehézségi erőtér egyik, kitüntetett pontban (középtengerszint) felvett szintfelülete.
Geoid feletti magasság		A geoidhoz viszonyított magasság. Ortométeres magasság, a víz biztosan a kisebb értékű pont felé folyik.
GIS	Geographic Information System	Térinformatikai rendszer, a benne tárolt információk egyik jellemző tulajdonsága a térbeli hely.
GLONASS	Глобальная навигационная спутниковая система	Orosz globális helymeghatározó rendszer
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globális Helymeghatározó Műhold Rendszer - Az összes navigációs rendszer együttese
GPS	Global Positioning System	Globális Helymeghatározó Rendszer (csak az amerikai NAVSTAR rendszer)
GSD	Ground Sample Distance	Terepi felbontás. A mérés tárgyának távolságában értelmezett felbontás, pl. műholdfelvétel esetén 40 cm, vagy lézerpontfelhőnél 2x3 mm @10 m

Helyzet	Attitude	Lásd Attitude
Hullámforma analízis	Wave-form analyzis	Az analóg lézerjel visszaverődésének digitalizálása utáni feldolgozás, melynek segítségével a különböző távolságokban levő tárgyakról történt részleges visszaverődések külön-külön visszaverődésként dolgozhatók fel (pl. növényzet mögötti házfal, lombkorona alatti talaj, stb.)
Impulzus	Impulse	Egyetlen, rövid ideig tartó jel. Egyetlen lézertávmérés a szkennelés során.
Impulzussebesség	PRR=Pulse Repetition Rate	Az egységnyi idő alatt kibocsátott lézerimpulzusok száma, mérési sebesség.
IMU	Inertial Measuring Unit	Tehetetlenségi mérőrendszer, 3 térbeli tengely mentén mért gyorsulási adatokat, illetve a 3 tengely körüli elfordulási adattokat szolgáltat. Gyorsulásmérők és giroszkópok együttese. Fizikai megvalósítása sokféle lehet, MEMS, FOG, RLG, azaz mikro-elektro-mechanikus, üvegszálas, lézergyűrűs...
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing	Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság
Infravörös	Infrared (IR), Near-Infrared (NIR)	Látható fénytartomány alatti fény, a lézerszkennerek nagyobbik része ebben a tartományban (közeli infravörös) üzemel. Szabad szemmel nem látható.
Intenzitás	Intensity	A visszavert jel erősségét jellemző mérőszám
LAS	Lidar Aerial Survey (or LASer)	Pontfelhő tárolási szabvány
LAZ	LAS-zip	Tömörített LAS - adattakarékos pontfelhő tárolási fájlformátum

LIDAR	Light Detection and Ranging	A RADAR betűszó mintájára a Fénnyel történő detektálás és távolságmérés - gyakorlatilag jelentése a lézerszkennelés
LISP	List Processing	Programozási nyelv (pl. AutoCAD-ben)
LIVOX szkenner		A fejlesztő cég nevéből származik az elnevezés, főleg navigációs, járműirányítási céllal fejlesztett lézerszkennerek, melyek nem szabályos letapogatási mintát alkalmaznak (nem szabályos rácsháló, vagy vonalak)
MAE	Mean Absolute Error	Átlagos hiba
Mesh	Térháló	Elemi háromszögekkel lefedett felszín vagy 3D objektum
MI	Mesterséges Intelligencia	Lásd AI
MLS	Mobile Laser Scanning	Mobil lézerszkennelés - lézerszkenner valamilyen hordozóeszközön, mozgás közben gyűjt adatokat.
MMS	Mobile Mapping System	Általában a mobil lézerszkenneléssel azonosnak tekintik, szakmai anyagokban gyakran a kamerával (kamerákkal) kiegészített MLS-t érik alatta
Multi-konstellációs GNSS	Multi-constellation	Több helymeghatározó műholdrendszer jeleit venni- és felhasználni képes GNSS eszköz. (lásd. GNSS)
MVS	Multi View Stereo	Több helyről készített képekből alkotott sztereo kép, vagy ebből fotogrammetriai úton alkotott 3D modellezés
Oblique	Ferde tengelyű	Ferde tengelyű kameraképek

Ortométeres magasság	Ortometric height	A nehézségi erőtér szintfelületéhez viszonyított magasság. A geoid feletti magassággal ellentétben - mivel a nehézségi erőtérhez viszonyított érték - a víz biztosan az alacsonyabb pont felé folyik
Pontfelhő	Point cloud	3D pontok halmaza, származhat lézerszkennelésből, vagy fotogrammetriai úton előállított modell "felbontásából"
PPK	Post Processed Kinematic	Mobil lézerszkennelés estén az utófeldolgozott GNSS mérés valójában egy utófeldolgozott kinematikus mérés - szemben a pontmeghatározásban használt statikus-, vagy gyors-statikus mérési/feldolgozási módszerrel.
PTS		ASCII (text) alapú pontfelhő formátum
QZSS	Quazi Zenith Satellite System	Japán navigációs műholdrendszer, de nem globális. A speciális műholdpályák miatt csak a Távol-Keleten láthatók a holdak
RGB	Red-Green-Blue	Vörös, Zöld, Kék, az alapszínek. A valódi színes pontfelhőt szokták így is jellemezni, tehát a pontfelhőt alkotó pontok olyan színt kapnak, mint a amilyen a valóságban az objektumok színe. Ehhez színes digitális felvételt is kell készíteni a lézerszkennelés során, és komoly számítással meghatározni, minden 3D pontról, hogy melyik fotó melyik pixele mutatja a színét. A pontfelhő színezése jellemzően megduplázza a feldolgozási időt.
RINEX	Receiver Independent Exchange format	Vevő-független adatcsere formátum. Minden GNSS eszköznek megvan a saját bináris adatformátuma, de a közös feldolgozáshoz kialakítottak egy adatcsere formátumot. Jellemzően ASCII formátumú.
RMSE	Root Mean Square Error	Négyzetes középhiba.
Rover	Rover	Az ismeretlen helyen mérő (mozgó) GNSS vevő

RPM	Rotation per Minute	Percenkénti fordulatszám. Forgótükrös lézerszkennerekben a tükörforgás sebességének mértékegysége.
RTK	Real-time Kinematic	Valós idejű kinematikus GNSS mérés. Valamilyen ismert ponton álló bázisvevő minden, általa észlelt műholdra számítani tudja a korrekciós értékeket, és ezeket továbbadja (URH, mobil-adat, internet (NTRIP)), így a Rover GNSS vevő korrigálni tudja saját méréseit, így valós időben tud 2-5 cm pontosságú koordinátákat biztosítani
SBET	Smoothed Best Estimate of Trajectory	A tarjectory számítás során a simított, legjobb becslésből származó eredmény. Jellemzően az időben előről-hátra, majd hátulról előre is feldolgozott GNSS mérésből, és a IMU és DMI adatok szorosan (tightly-coupled), vagy lazábban (loosely-coupled) egybedolgozott együttes feldolgozásából származik
SFM	Structure from Motion	Digitális fotogrammetriai modellezési technika, mely a videofelvételt alkotó, különböző nézőpontokból készült "fényképek" felhasználásával készít 3D modelleket.
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	Lézerszkennelés feldolgozási módszer, bár jelenleg már egyes eszköztípusokra is használják. Lényege az eszköz pozíciójának valós idejű számítása a környezetéhez viszonyítva, illetve magának a környezetnek a folyamatos felmérése, térképezése. Azokat az eszközöket is így hívják, melyek folyamatos mozgás mellett gyakorlatilag azonnal eredményt - pontfelhőt szolgáltatnak.
SNAP		Kurzor pozícionálás. Hívják tárgyraszternek is. Vektoros, vagy pontfelhő elemek speciális tulajdonságú pontjára történő kurzor pozícionálás, pl. végpontra, beszúrási pontra, pontfelhő legalacsonyabb, vagy legközelebbi pontjára, stb.

SOCS	Scanners Own Coordinate System	A szkenner saját koordinátarendszere. A szkennerek a méréseket a saját koordinátarendszerükben végzik, és a feldolgozó szoftver a GNSS+IMU adatok feldolgozásával számítja át a mérések eredményét (lézer pontok) globális koordinátarendszerbe
TIN	Triangulated Irregular Network	Szabálytalan háromszögháló. Felületek, objektumok részletes ábrázolásának eszköze.
TLS	Terrestrial Laser Scanning	Állószkenner, állószkennelés. Szemben az MLS, SLAM, ALS, ULS - azaz mozgó rendszerekkel, ebben az esetben a lézerszkenner egy adott állásponton (scan position) a saját állótengelye körül körbeforogva méri fel a környezetét. Lehetnek dóm- vagy szektorszkennerek, attól függően, hogy milyen magassági szög korlátozással rendelkeznek (vagy nem rendelkeznek)
TOF	Time Of Flight	Futásidő mérés. A lézerszkennerek nagyobbik része ezen az elven méri a távolságot, azaz méri a lézerimpulzus kibocsájtása és a visszavert jel visszaérkezése között időkülönbséget.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Pilóta nélküli repülő szerkezet (drón). Lehet multikopter, vagy merevszárnyú, esetleg ezek kombinációja (pl. VTOL merevszárnyú)
ULS	Unmanned Laser Scanning	Pilóta nélküli hordozóról végzett lézerszkennelés
UTC	Universal Time Coordinated	Egyetemes Koordinált Világidő - a Föld forgásához igazított időrendszer, eltér a tisztán atomi etalonok (atom óra) által definiált GPS időtől.
UTM	Universal Transverse Mercator	Vetületi rendszer

Vetület, vetítés		Földfelszíni alakzatok síkban történő ábrázolására használt matematikai módszer, illetve eljárás
VTOL	Vertical Take-off and Landing	Függőleges fel- és leszállás
WGS84	World Geodetic System 1984	Általánosan használt globális földrajzi referencia rendszer. Földközéppontú derékszögű (térbeli) koordinátarendszer.

9.2 Kiértékelő szoftverek bemutatása

Az alábbi mellékletben a teljesség igénye nélkül bemutatásra kerül pár pontfelhő kiértékelő vagy arra alkalmas szoftver, hogy a kollégák megtalálhassák a saját feladataikhoz és igényeikhez legmegfelelőbb szoftvert.

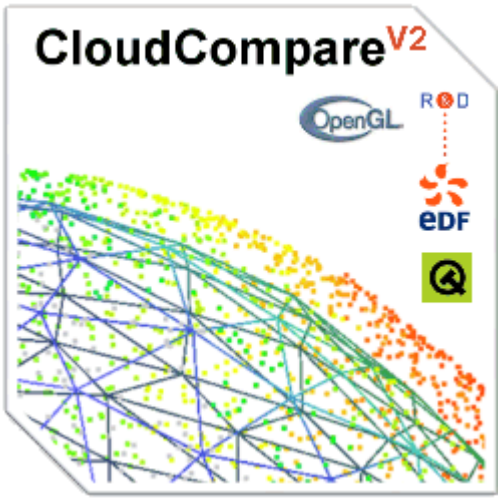
A felsorolás csak olyan szoftvereket tartalmaz, melyekkel kiértékelést lehet végezni, előfeldolgozó vagy manipulációs eszközöket (mint LasTools vagy PCL) nem mutatunk be.

Az árkategóriák értelmezése:

- Ingyenes – A kategória
- 500.000 Ft nettó alatt – B kategória
- 500.000 - 1.000.000 Ft nettó – C kategória
- 1.000.000 Ft nettó felett – D kategória

A szoftverek bemutatásának struktúrája kitér a felhasználási területre és a főbb funkciókra.

9.2.1 CloudCompare



Fejlesztő: Nyílt forráskódú

Ár: A kategória

Felhasználás: Elő- és Utófeldolgozás - Pontfelhő nézegetés, Modellezés, Osztályozás, Modell-Felhő Összehasonlítás, Elemzés

Weblap: https://cloudcompare.org/index.html

A CloudCompare egy ingyenes, nyílt forráskódú 3D pontfelhő feldolgozó szoftver, amelyet eredetileg a nagy sűrűségű pontfelhők közötti változásdetektálásra fejlesztettek ki. Ma már az egyik legsokoldalúbb 3D adatfeldolgozó alkalmazás, amelyet mérnökök, kutatók világszerte használnak. A szoftver célja, hogy teljes körű eszköztárat biztosítson a 3D pontfelhők és hálók elemzésére, feldolgozására és vizualizációjára – a nyers adatok importálásától a komplex elemzéseken át a publikációkész eredmények előállításáig –, miközben elősegíti a precíz méréseket és a tudományos igényű dokumentációt.

Mire használható?

- Pontfelhő feldolgozás: tisztítás, szűrés, regisztráció (automatikus ICP és manuális módszerek)
- Változásdetektálás és deformációanalízis
- Térfogatszámítás pontfelhőkből, keresztmetszet- és felületszámítás
- 3D vizualizáció, interaktív térképnézet, elevációs profil
- Pontfelhőn és hálókon mérések (távolság, szög, felület)
- Digitális terepmodell (DTM/DSM/DEM) és felületépítés pontfelhőből, vektorból vagy kombináltan
- Pontfelhő kezelése és megjelenítése, korlátlan skaláris mező kezelés (magasság, intenzitás, RGB stb.)
- Terepszűrés, szegmentálás és pontfelhő klasszifikálás
- Automatikus és manuális osztályozás, fél-automata megoldások zajszűréshez
- Statisztikai elemzések, minőségellenőrzés és deformációmonitoring

- Projekciós és raszterizálási módszerek, adatcsempézés nagy adatállományokhoz
- Bővíthető plugin rendszer speciális modulokkal (pl. Compass, qPDALIO, LAStools)
- Automatizált batch feldolgozás PDAL eszközökkel és parancssori támogatás

9.2.2 QGIS

Fejlesztő: Nyílt forráskódú

Ár: A kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő nézegetés, vektoros kiértékelés GIS formátumokba, elemzések

Weblap: https://qgis.org/

Mire használható?

- Pontfelhő betöltése és megjelenítése LAS/LAZ formátumokkal különböző attribútumok alapján (pl. magasság, intenzitás, osztály, RGB)
- 3D vizualizáció, interaktív térképnézet, elevációs profil panel, animációs és mérési eszközök (távolság, magasság, keresztmetszet)
- Digitális terepmodell (DTM/DSM/DEM) generálás különféle interpolációs módszerekkel pontfelhőkből
- Pontfelhő szűrése, osztályozása (talaj/nem-talaj, zajszűrés, objektum-detektálás), fél-automata és manuális megoldások
- Automatizált batch feldolgozás PDAL parancssori eszközökkel teljes integrációval
- Raszter és vektor formátumokba konvertálás, export PDF, DXF, CSV formátumokba
- Pontok, vonalak, poligonok kinyerése és GIS adatbázis kezelése pontfelhőkből
- Teljes PDAL eszköztár és külső plugin-ek (LAStools, WhiteboxTools, OpenLiDAR Tools) támogatása
- Statisztikai elemzések, minőségkontroll és térfogat-számítás pontfelhőkön
- Pontfelhő csempézés nagy adatmennyiségek kezelésére és koordináta-rendszer transzformációk
- GIS és térinformatikai funkciók pontfelhő adatokkal kombinálva, integrált munkafolyamatok

9.2.3 PointCloudScene (PCS)

Fejlesztő: Digicart Kft

Ár: B kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD/GIS formátumokba, Manuális és fél-automata osztályozás, Felület építés

Weblap: https://pointcloudscene.com/ és https://pcswiki.digicart.hu/en/home

A PointCloudScene a Digicart Kft - az ITR fejlesztőjének - pontfelhő feldolgozó szoftvere. Eredeti célja szerint nagy tömegű pontfelhő gyors és hatékony feldolgozását teszi lehetővé térinformatikai adatbázisok és CAD rajzok kiértékeléséhez, ezen felül osztályozási műveletekre és ortofotóból vagy műhöldképből történő kiértékelésre is alkalmas. A szoftver gyengébb számítógépeken is jól futtatható, és 3D nézetben 256 millió pontig teljesen gördülékenyen dolgozhatunk a pontfelhőkkel.

Mire használható?

- Pontfelhő vizualizálása a pontfelhő különböző attribútumai alapján vektoros vagy raszteres adatokkal együtt
- Pontfelhőből való vektoros kiértékelés elvégzése CAD vagy GIS végtermékkel, ahol a geometriai elemekhez attribútumokat is rendelhetünk
- Sablonokkal való kiértékelést tesz lehetővé, így a felhasználók a saját igényeik szerinti CAD vagy GIS rétegeket használhatják a kiértékeléshez
- Pontfelhő osztályozási műveleteket tesz lehetővé, melyek fél-automata vagy manuális megoldásokat kínál a felhők tisztázására
- Felületépítést tesz lehetővé pontfelhőből, vektorból, vagy kombinált megoldást felhasználva
- A szoftverhez elérhető teljes leírás angol nyelven, a terméktámogatás és képzés magyarul és angolul is elérhető.

9.2.4 TopoDOT

Fejlesztő: Certainty 3D LLC

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD formátumokba, Elemzés, Manuális osztályozás, Automatikus kiértékelés, Modellezés

Weblap: https://www.topodot.com/

A TopoDOT az amerikai Certainty 3D LLC vállalat terméke, melyet a világon az egyik legelterjedtebb pontfelhő vektorizálásra használt eszközként tartanak számon, felhasználói bázisa lassan közelít a 10.000 felhasználóhoz. Ez a szoftver egy beépülő modul, önmagában nem használható, szükség van a futtatásához egy Bentley Microstation (vagy egyenértékű, pl. Bentley PowerDraft) alap szoftverre, melyre telepíteni lehet. A Microstation alapszoftver ismerete használatához erősen ajánlott.

Mire használható?

- Pontfelhő vizualizálása a pontfelhő különböző attribútumai alapján vektoros vagy raszteres adatokkal együtt
- Pontfelhőből való vektoros kiértékelés elvégzése CAD végtermékkel
- Automata és félautomata eszközök vonalas létesítmények és egyéb objektumok automata kiértékeléséhez
- Modellezési eszköztár a pontfelhőkből való műszaki modellek elkészítéséhez
- Felületépítést tesz lehetővé pontfelhőből, vektorból, vagy kombinált megoldást felhasználva
- Elemző eszközöket tesz elérhetővé különböző analízisekhez
- A szoftverhez angol nyelven érhető el terméktámogatás és képzés, a szoftver leírása vásárlást követően elérhető a felhasználók számára angol nyelven.

9.2.5 TerraSolid

Fejlesztő: Terrasolid Ltd.

Ár: D kategória

Felhasználás: Elő- és utófeldolgozás - Pontfelhők regisztrálása, előfeldolgozása, Automatikus és manuális osztályozás, Modellezés, Vektoros kiértékelés CAD formátumba.

Weblap: https://terrasolid.com/

Mire használható?

A Terrasolid szoftvercsalád moduláris felépítésű, a felhasználói igényekhez igazítható az összeállítás.

TerraScan – Alapmodul a pontfelhők feldolgozására

- Nagy adathalmazok kezelése (akár milliárd pont).
- Automatikus osztályozás (terep, növényzet, épület, vezetékek stb.).
- Kézi szerkesztő eszközök a finomításra.
- Zajszűrés és ritkítás a pontfelhő tisztítására.
- Pontfelhők színezése fényképek alapján (TerraPhoto modul is szükséges).
- Koordináta-transzformációk, georeferálás.
- Exportálás ipari szabvány formátumokba (LAS/LAZ, ASCII, DXF stb.).

TerraMatch – Kalibráció és illesztés (szkenner–IMU–trajektória pontosítás)

- Trajektória és boresight hibák korrigálása
- GNSS/IMU–szkenner adatok összehangolása
- Több repülési sáv összeillesztése
- Pontosságellenőrzés, minőségbiztosítás

TerraModeler – Terepmodellek (DTM/DSM) előállítása pontfelhőből

- Digitális terepmodell (DTM) és felszínmodell (DSM) előállítása
- Szintvonal-generálás
- Törésvonalak kezelése
- Térfogatszámítások
- Profil- és keresztmetszet-készítés

TerraPhoto – Képfeldolgozás, ortofotó-készítés, színezés

- Légi/mobil/UAV képek ortorektifikálása
- Pontfelhők színezése fotók alapján
- True ortho előállítás
- Mozaikolás, színkiegyenlítés

TerraStereo – Sztereó megjelenítés és 3D vektorizálás

- Sztereó nézet létrehozása képpárokból
- 3D vektorizálás pontfelhő + kép kombinációjával
- Épület- és objektum kiértékelés

TerraFM – Létesítménygazdálkodás, GIS/FM rendszerekhez való kapcsolódás

- CAD–GIS/FM adatkapcsolat
- Infrastruktúra-elemek kezelése
- Objektumok attribútumkezelése
- Kapcsolódás adatbázisokhoz

A szoftvercsalád több objektum típus kiértékelésére, és térbeli vizsgálatára is kínál jól paraméterezhető automatikus megoldásokat:

- Épületmodellezés: automatikus tetősík-felismerés, épületkontúr és 3D modellezés.
- Vezetékek feltérképezése, űrszelvény és védőtávolság vizsgálat: oszlopok, kábelek, növényzet belógás automatikus felismerése.
- Út- és vasútmérés: tengelyvonalak, szegélyek, törésvonalak, szelvények automatikus felismerése.
- Fás vegetáció elemzése: fahelyek, famagasság, lombkorona-átmérő, biomassza számítás.
- Terepmodellezés: DTM/DSM előállítás, szintvonalak, törésvonalak.
- Keresztmetszetek és profilok: pl. űrszelvény vizsgálati célokra.
- Változásvizsgálat: pontfelhők összehasonlítása különböző időpontok között.

9.2.6 AutoCAD Civil 3D

Fejlesztő: AutoDesk

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD formátumba, felület építés, elemzés

Weblap: https://www.autodesk.com/hu/products/civil-3d/overview

Az Autodesk Civil 3D egy átfogó építőmérnöki és infrastruktúra-tervező szoftver, amely a BIM (Building Information Modeling) szemléletet alkalmazza közlekedési, vízügyi és környezeti projektekhez. Lehetővé teszi a mérnökök és tervezők számára a teljes projekt integrált kezelését a koncepciótól a kivitelezési dokumentációig. Különösen erős a terepmodellezésben, útszerkezet- és vasúttervezésben, valamint vízrendezési és földmunka-számítási feladatokban, támogatva az együttműködést más Autodesk-termékekkel.

Mire használható?

- Út- és vasúttervezés: nyomvonalak, csomópontok, keresztszelvények és vasúti pályák pontos modellezése
- Terepmodellezés: digitális terepmodellek (DTM/DSM/DEM) létrehozása geodéziai adatok és pontfelhők alapján, keresztszelvények és hossz-szelvények automatikus generálása, kubatúra számítások és mennyiségi kimutatások
- Vízügyi projektek: csapadékvíz-elvezetés, csatornázás és közműrendszerek tervezése
- Földmunka-számítások: mennyiségek, költségek és fázisokra bontott kivitelezési tervek pontos meghatározása
- Kivitelezési dokumentáció: műszaki rajzok, részletrajzok, kimutatások automatikus generálása
- Projektkommunikáció: BIM-alapú adatok megosztása, vizualizáció és koordináció más Autodesk alkalmazásokkal
- Digitális terepmodell és földmunka elemző eszközök, rézsűtervezés és geotechnikai modellezés
- Dokumentáció és rajzkészítés, alaprajzok, szelvények, részletrajzok automatikus előállítása, kimutatások és riportok generálása, BIM-integráció és együttműködés
- CAD-formátumok (pl. IFC) importja, exportja és adatcsatolása, valamint Esri ArcGIS és Bentley adatok integrálása, felhőalapú adatkezelés
- Automatizálás és testreszabás, dinamikus objektumok és paraméterek használata, saját szabályok és munkafolyamatok kialakítása

9.2.7 MicroSurvey CAD

Fejlesztő: MicroSurvey Software Inc.

Ár: C, D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD formátumba, Felület építés, elemzés, modellezés

Weblap: https://www.microsurvey.com/

A szoftver alapvetően egy földmérőknek szánt AutoCAD (vagy inkább MAP 3D) klón, de több modulból (vagy szolgáltatási szintből) áll, melyek közül csak a legjobb (és legdrágább) "ULTIMATE" verzió támogatja a pontfelhők kezelését. Mivel a szoftvercég immár a HEXAGON csoport része, natív módon támogatja a LEICA pontfelhő formátumokat. Természetesen sok egyéb formátumot, a kvázi-szabvány LAS-t is képes kezelni, de a tömörített LAZ-t például nem.

Nem kiemelkedő képességű pontfelhő kezelő szoftver, de az AutoCAD-hez való hasonlósága, a földmérőknek szánt modulok, funkciók (pl. vetületek kezelése, COGO funkciók, út- vasút tervező modul, stb.) jó univerzális szoftverré teszik.

Kézi vektorizálásra jól használható, pontfelhő SNAP módok (pl. legalacsonyabb, átlag, stb.) használhatók. Korlátozott automatikus objektum-kiértékelési képességekkel rendelkezik, pl, útburkolati jelek (csak vonalak!) felismerésére, vektorizálására alkalmas.

9.2.8 Undet

Fejlesztő: Terra Modus UAB

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD formátumba, Felület építés, elemzés, modellezés

Weblap: https://www.undet.com/

Az Undet pontfelhő feldolgozó szoftver a TopoDOT-hoz hasonlóan szintén egy beépülő modul, azzal az alapvető különbséggel, hogy több szoftverhez is elérhető a modul, például AutoCAD-hez, Revit-hez vagy SketchUp-hoz.

Mire használgató?

- Pontfelhő vizualizálása a pontfelhő különböző attribútumai alapján vektoros vagy raszteres adatokkal együtt
- Pontfelhőből való vektoros kiértékelés elvégzése CAD végtermékkel
- Modellezési eszköztár a pontfelhőkből való műszaki modellek elkészítéséhez
- Elemző eszközöket tesz elérhetővé különböző analízisekhez
- Több alap szoftverrel is kompatibilis, így a mérnökök a saját munkafolyamatukhoz könnyebben integrálhatják
- A szoftverhez angol nyelven érhető el terméktámogatás és képzés.

9.2.9 Limon Tools

Fejlesztő: Limon Dephos Group

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő megjelenítés, Automatikus és manuális osztályozás

Weblap: https://www.limon.eu/home

A Limon Tools egy eredetileg drónos pontfelhőkhöz készült eszköztár, mely vizualizációhoz, osztályozáshoz és elemzéshez készült, de egyéb pontfelhők esetében is használható, ugyanakkor egyes szoftver csomagok drónos mérés feldolgozását is el tudják végezni.

Mire használható?

- Pontfelhő vizualizálása a pontfelhő különböző attribútumai alapján vektoros vagy raszteres adatokkal együtt
- Pontfelhőből való vektor pontok kiértékelése (nem teljes vektoros kiértékelés)
- Pontfelhő osztályozási műveleteket tesz lehetővé, melyek automata, fél-automata vagy manuális megoldásokat kínál a felhők tisztázására
- Távoli együttműködés támogatására adatmegosztással vagy WMS szolgáltatással
- A szoftverhez angol nyelven érhető el terméktámogatás és oktató videók.

9.2.10 n4ce

Fejlesztő: Applications in CADD Ltd.

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD/GIS formátumokba, Felület építés, térfogat számítás

Az n4ce (ejtsd: enforsz) egy kombinált földmérési, térinformatikai, pontfelhő feldolgozó és felület építő megoldás, mely több különböző csomagokat ajánl az igényeknek megfelelően.

Az eszközben kifejezetten erős a felület építő és szelvényező funkcionalitás. Mivel hagyományos felméréseket és pontfelhős adatokat is kombinálhatunk, egyedi megközelítéseket is alkalmazhatunk.

Weblap: https://appsincadd.co.uk/

Mire használható?

- Pontfelhő vizualizálása a pontfelhő különböző attribútumai alapján vektoros vagy raszteres adatokkal együtt
- Pontfelhőből való vektoros kiértékelés elvégzése CAD vagy GIS végtermékkel, ahol a geometriai elemekhez attribútumokat is rendelhetünk
- Pontfelhő osztályozási műveleteket tesz lehetővé, melyek fél-automata vagy manuális megoldásokat kínál a felhők tisztázására
- Felületépítést tesz lehetővé pontfelhőből, vektorból, vagy kombinált megoldást felhasználva
- 3D modellezés és terület-vágás/feltöltés számítások
- Vasúti infrastruktúra pontfelhő alapú kiértékelése, ideértve felsővezetékek és sínek analízisét
- Komplex térfogat- és anyagkimutatások előállítása építési projektekhez
- 3D séták és animációk készítése modellekről, vizuális prezentációk támogatása
- Integrált CAD és GIS adatkezelési funkciók és export lehetőségek
- Angol nyelvű terméktámogatás és oktatóanyagok elérhetőek

9.2.11 SCC

Fejlesztő: Atlas Computers Ltd.

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás- Vektoros kiértékelés CAD formátumba, Felület építés, felület elemzés, térfogat számítás

Az SCC egy teljes körű geomatikai megoldás, mely a terepi mérések, modellezés és pontfelhő kezelés tekintetében is sokféle eszközt ajánl a felhasználók számára. Segítségével különböző típusú pontfelhőkből végezhetünk manuális vagy automatikus vektoros kiértékelést. A szoftver külön eszköztárakat ajánl vasúti elemek pontfelhőből történő kiértékelésére, mint például vasúti felsővezetékek, sínszálak. A szoftver kifejezetten hatékony elemzési műveletek elvégzésében, keresztszelvények generálásában és az adatok kombinált megjelenítésében is. A szoftver terméktámogatása angol nyelven érhető el, és online angol nyelven oktató anyagokat is elérhetünk.

Weblap: https://atlascomputers.ie/

Mire használható?

- Pontfelhő importálása, vizualizálása és elemzése (LAS, LAZ, E57, PTS, FLS, ESRI grid formátumokból, valamint különféle LiDAR, szkenner és UAV forrásból)
- Manuális és automatikus vektoros kiértékelés pontfelhőből CAD formátumokba (DWG, DGN, LandXML, IFC), például vonalas létesítmények, vasúti sínszálak és felsővezetékek automatikus felismerése
- 3D felületek (TIN modellek) és digitális terepmodellek építése és exportálása más rendszerekbe
- Felület- és térfogatszámítás nyers pontfelhő és származtatott modellek alapján
- Metszetek generálása, szerkesztése, vágása
- Pontfelhő osztályozása, automatikus zajszűrés, talaj/nem-talaj, objektum- és növényzet-felismerés
- Különféle vasúti, út- és közmű elemek szakspecifikus kiértékelése és modellezése
- Alakzatok, objektumok automatikus kinyerése (kerékvetők, padkák, falak, útburkolati jelek, fásszárú növényzet, közvilágítási berendezések stb.)
- Adatcserére, dokumentálásra, riportkészítésre alkalmas eszközök
- Adatkonvertálás és -export új pontfelhő formátumokba és CAD/GIS struktúrákba
- Monitoring, torzítás- és deformációelemzés (pontfelhő összehasonlítás, vizuális és vektoros különbség-analízis)

9.2.12 InfraWorks

Fejlesztő: AutoDesk

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Vektoros kiértékelés CAD formátumba, felület építés, elemzés

Weblap: https://www.autodesk.com/hu/products/infraworks/overview

Az Autodesk InfraWorks egy hatékony infrastruktúra-tervező és modellező szoftver, amely lehetővé teszi a mérnökök, várostervezők és döntéshozók számára, hogy valósághű 3D környezetben hozzanak létre, vizsgáljanak és kommunikáljanak infrastrukturális terveket. A program erőssége, hogy különböző adatforrásokból (GIS, CAD, BIM, pontfelhők, raszter- és vektoradatok) származó információkat képes egyetlen integrált 3D modellbe egyesíteni.

Az InfraWorks segíti a koncepciótervezést, elemzést és prezentációt, így a projektek már korai fázisban is részletesen bemutathatók a partnereknek, megrendelőknek és a nyilvánosságnak.

Mire használható?

- Infrastruktúra-tervezésben: utak, vasutak, hidak, csatornák és közművek modellezésére.
- Várostervezésben: települési környezet, új fejlesztések és közlekedési hálózatok vizualizálására.
- Környezetmodellezésben: domborzati adatok és tájképi elemek integrálására, elemzésére.
- Projektek kommunikációjában: látványos, könnyen érthető 3D modellek és szimulációk készítésére a döntéshozók és a lakosság számára.
- Tervezés és kivitelezés előkészítésében: különböző szcenáriók összehasonlítására, költség- és hatásvizsgálatokhoz.
- Fenntarthatósági vizsgálatokban: környezeti hatások, területfelhasználás és forgalmi változások előrejelzésére.

9.2.13 Recap Photo

Fejlesztő: AutoDesk

Ár: C kategória

Felhasználás: Az Autodesk ReCap Photo egy speciális valóságrögzítő alkalmazás, amely a fotogrammetria elvén alapul. A szoftver képes drónokkal vagy fényképezőgépekkel készített 2D fotósorozatokat feldolgozni, és ezekből pontos 3D modelleket és ortofotókat generálni. A ReCap Photo kifejezetten nagy területek és kültéri helyszínek rögzítésére lett optimalizálva, ezért ideális eszköz a mérnöki tervezésben, építészetben, topográfiában és vizualizációban.

A szoftver a felhőalapú számítási kapacitást használja, így a helyi számítógépet nem terheli, a feldolgozás gyorsabb és skálázhatóbb.

Weblap: https://www.autodesk.com/hu/products/recap/overview

Mire használható?

- Fotogrammetriai feldolgozás, sorozatképek importálása, felhőalapú feldolgozás, mérés és elemzés, távolság, terület, szintszámítás.
- Pontfelhők készítése nagy pontosságú, textúrázott 3D hálók előállítása, mérethelyes modellek létrehozása tervezéshez és elemzéshez.
- Építőiparban és építészetben: drónfelvételek alapján pontos terep- és környezetmodellek létrehozása.
- Várostervezésben: települési környezet, utcák, épületblokkok részletes 3D modellezése.
- Mérnöki tervezésben és infrastruktúrában: utak, vasutak, hidak és ipari területek felmérése, dokumentálása.
- Geodéziában és topográfiában: digitális domborzatmodellek és ortofotók előállítása nagykiterjedésű területekről.
- Műemlékvédelemben: kulturális örökségek, történelmi helyszínek részletes 3D rekonstrukciója.
- Vizualizációban és prezentációban: valósághű látványtervek, virtuális túrák, VR/AR környezetek előkészítése.

9.2.14 Recap Pro

Fejlesztő: AutoDesk

Ár: C kategória

Felhasználás: Az Autodesk ReCap Pro egy professzionális valóságrögzítő (reality capture) és -feldolgozó szoftver, amely lehetővé teszi a valós világ pontos digitális másának létrehozását. A szoftver elsősorban 3D lézerszkennelési és fotogrammetriai adatok feldolgozására szolgál, majd ezekből pontfelhőket és 3D modelleket készít, amelyeket más Autodesk-termékekkel (pl. AutoCAD, Revit, Civil 3D, Navisworks) közvetlenül integrálni lehet.

A ReCap Pro segítségével a mérnökök, építészek, tervezők és geodéták hatékonyan dokumentálhatják a meglévő környezetet, és azt alapul vehetik tervezéshez, felújításhoz vagy elemzéshez.

Weblap: https://www.autodesk.com/hu/products/recap/overview

Mire használható?

- Pontfelhő feldolgozás, LIDAR és fotogrammetriai adatok importálása, pontfelhőkezelés és optimalizálás, regisztráció és illesztés, finomhangolási lehetőségek, mérési és elemzési funkciók, távolságok, szögek, felületek pontos mérése

- Építőiparban és építészetben: meglévő épületek, helyszínek pontos digitalizálása, felmérése és dokumentálása.
- Mérnöki tervezésben: infrastruktúrák (pl. utak, hidak, alagutak) állapotfelmérése és újratervezése.
- Műemlékvédelemben: történelmi épületek, műtárgyak és emlékhelyek digitális archiválása.
- Ipari környezetben: gyárak, üzemek pontos térképezése és karbantartási, bővítési projektek támogatása.
- Bányászatban és topográfiában: terepi pontfelhők, domborzat és felszíni viszonyok modellezése.
- Vizualizációban és VR/AR alkalmazásokban: valósághű környezetmodellek előállítása szimulációhoz vagy bemutatókhoz.
- Dokumentáció és megosztás, projektek felhőalapú tárolása és megosztása, hozzáférés biztosítása csapatok és partnerek számára

9.2.15 Revit

Fejlesztő: AutoDesk

Ár: D kategória

Felhasználás: Az Autodesk Revit a világ egyik legelterjedtebb BIM (Building Information Modeling) alapú tervező szoftvere, amelyet építészek, mérnökök, kivitelezők és épületüzemeltetők egyaránt használnak. A Revit lehetővé teszi, hogy egyetlen központi, intelligens 3D modellből származtassák az összes szükséges rajzot, tervet, kimutatást és szimulációt.

A szoftver célja, hogy támogassa a teljes épület- és infrastruktúra-tervezési folyamatot – a koncepciótól a kivitelezésen át az üzemeltetésig –, miközben elősegíti az együttműködést és a hibák minimalizálását.

Weblap: https://www.autodesk.com/hu/products/revit/overview

Mire használható?

- BIM-alapú tervezés, intelligens paraméterezett épületkomponensek használata, központi modellből származtatott rajzok és kimutatások.
- Építészeti tervezésre: alaprajzok, metszetek, homlokzatok és 3D modellek készítésére.
- Épületgépészeti és szerkezettervezésre: MEP-rendszerek (gépészet, elektromosság, csőhálózatok) és tartószerkezetek modellezésére.
- Dokumentációra: műszaki rajzok, részletrajzok és kimutatások automatikus generálására.
- Vizualizációra és bemutatásra: látványtervek, renderelt képek és virtuális bejárások készítésére.
- Projektkoordinációra: központi modellben való együttműködés, ütközésvizsgálatok, verziókezelés.
- Épületüzemeltetésre: az elkészült modell használata karbantartás, felújítás vagy üzemeltetés során.
- Dokumentáció és kimutatások, vizualizáció és prezentáció, fotórealisztikus renderelések, árnyékvizsgálatok, animációk.

9.2.16 ArcGIS Pro

Fejlesztő: ESRI Inc.

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő nézegetés, vektoros kiértékelés GIS formátumokba, elemzések

Az ArcGIS Pro professzionális földrajzi információs rendszer (GIS), amely átfogó pontfelhő feldolgozási és elemzési funkciókat kínál. A szoftver a kereskedelmi GIS piac vezető megoldása, támogatva a LiDAR és fotogrammetriai adatok kezelését az ArcGIS 3D Analyst és Spatial Analyst bővítményeken keresztül. Az ArcGIS Pro kiválóan integrálható az Esri ökoszisztéma többi komponensével, lehetővé téve a térbeli adatok komplex feldolgozását, vizualizációját és megosztását.

Weblap: https://www.esri.com/en-us/home

Mire használható?

- Pontfelhő betöltése, megjelenítése és kezelése LAS/LAZ, EPT, COPC formátumokban, attribútumok (magasság, intenzitás, osztály, RGB) szerinti színezéssel
- 3D vizualizáció interaktív térképnézettel, elevációs profil panellel, animációval és mérési eszközökkel (távolság, magasság, keresztmetszet)
- Digitális terepmodellek (DTM, DSM, DEM) előállítása különféle interpolációs módszerekkel pontfelhőkből
- Pontfelhő szűrése és osztályozása (pl. talaj/nem-talaj elkülönítés, zajszűrés, objektumdetektálás) fél-automata és manuális módszerekkel
- Automatizált adatfeldolgozás PDAL wrench eszközök integrációjával, batch feldolgozás támogatása
- Raszter és vektoros adatformátumokba történő exportálás PDF, DXF, CSV stb. formátumokba
- Pontok, vonalak és poligonok kinyerése pontfelhőkből, hatékony GIS adatbázis-kezelés
- Statisztikai elemzések, minőségellenőrzés, térfogat- és volumenszámítás pontfelhőkön
- Nagy pontfelszínű adatállományok kezelése pontfelhő csempézéssel és koordináta-rendszer átalakításokkal
- Teljes körű térinformatikai elemzések és vizualizációk integrálva a GIS munkafolyamatokba

9.2.17 Global Mapper

Fejlesztő: Blue Marble Geographics

Ár: C kategória

Felhasználás: Pontfelhő megjelenítés, automatikus és manuális osztályozás, modellezés, terepmodellek készítése, elemzése, lefolyásmodellezés

A szoftver térinformatikai (GIS) alkalmazás, amely széles körű formátumtámogatással bír CAD, raszter és webes típusú adatokra. Pontfelhő kezelése korlátozottabb, főként alapvető automatikus osztályozásra (pl. talaj, növényzet, épület), zajszűrésre és átfedő pontfelhők illesztésére alkalmas. Térfogatszámításra és statisztikai elemzésekre is képes. A külön megvásárolható LIDAR modul fejlettebb osztályozást, digitális terep- és felszínmodellek (DTM, DSM), törésvonal-kezelést, valamint lefolyás- és árvízmodellezést tesz lehetővé. Támogatja a vízgyűjtő terület elemzést, tereptulajdonságok szerinti helyszínkeresést, lejtés- és kitettségvizsgálatot, valamint összelátás elemzést. A teljes modul elektromos távvezetékek és épületek automatikus felismerésére, osztályozására és modellezésére is képes.

Weblap: https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/

Mire használható?

- Pontfelhő megjelenítése és alapvető osztályozása automatikusan vagy manuálisan (talaj, növényzet, épület stb.)
- Zajszűrés, átfedő pontfelhők illesztése és alapvető vektorizálási funkciók
- Térfogatszámítás és pontfelhő alapú statisztikai elemzések
- Fejlett LIDAR modul segítségével digitális terepmodellek (DTM) és digitális felszínmodellek (DSM) készítése, törésvonalak kezelése
- Lefolyás- és árvízmodellezés, elárasztási szimulációk készítése
- Vízügyi elemzések: vízgyűjtő terület elemzés, lejtésviszonyok és kitettség vizsgálata
- Láthatósági elemzések, összelátás vizsgálat
- Elektromos távvezetékek és épületek automatikus felismerése és osztályozása pontfelhők alapján
- GIS adatok komplex kezelése, integrált térinformatikai elemzések támogatása
- Tereptulajdonságok alapján történő helyszínkeresés és elemzés

9.2.18 Trimble Business Center

Fejlesztő: Trimble Inc.

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - AI-alapú adatfeldolgozás, vektorizálás, pontfelhő elemzés

A Trimble Business Center egy fejlett adatfeldolgozó szoftver, amely AI-alapú megoldásokat is kínál a pontfelhők és geodéziai adatok feldolgozására. A program különösen erős az útburkolati jelek automatikus kiértékelésében, vektorizálásban és infrastruktúra-elemek kinyerésében pontfelhőkből.

Weblap:https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-business-center

Mire használható?

- AI-alapú adatfeldolgozás intenzitásérték-alapú elemzéssel
- Geometria kinyerés felhasználó által definiált sablonok alapján
- Útburkolati jelek kiértékelése: Ez a parancs lehetővé teszi a vonallánc kinyerését, amely minden sávvonal pontosan közepén helyezkedik el, függetlenül attól, hogy az folytonos, szaggatott vagy dupla. A funkció az útburkolati jelek intenzitásértékein alapul, ami azt jelenti, hogy a pontfelhőknek intenzitásértékekkel kell rendelkezniük a parancs helyes működésének biztosítása érdekében.
- Útburkolati elemek és forgalmi jelek feldolgozása: Az útburkolati jelek a sávelválasztókon kívül gyalogátkelőhelyeket, nyilakat és egyebeket is tartalmaznak. A geometria kinyerése funkcióval gyorsan kinyerhetők az útburkolati jelek poligonként, a felhasználó által definiált sablonok alapján. Ez a funkció az útburkolati jelek intenzitásértékeire támaszkodik, ami azt jelenti, hogy minden pontnak rendelkeznie kell egy intenzitásértékkel a parancs helyes működésének biztosítása érdekében.
- Távvezetékek elemzése: Távvezetékek kinyerése vonalvektorként a pontfelhőből. Belógás elemzés az osztályozott pontfelhőhöz és felületekhez.
- Infrastruktúra vektorizálása: Szegélyek és árkok vektorizálása, beton elválasztó elemekkel együtt. Keresztszelvények megadott töréspontok alapján, módosítható paraméterekkel.
- Dokumentáció: Koordinátalista és magasságkülönbség exportálása jegyzőkönyvbe (csv).

9.2.19 Quick Terrain Modeler

Fejlesztő: Applied Imagery

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás – Pontfelhő vizualizáció, tisztítás, osztályozás, 3D modellezés, elemzés és kiértékelés

A Quick Terrain Modeler (QTM) a világ egyik vezető 3D pontfelhő és terepmodellező szoftvere, amelyet főként LiDAR adatokhoz fejlesztettek ki, de alkalmas bármilyen 3D adat kezelésére. A szoftver lehetővé teszi nagy adatmennyiség hatékony megjelenítését, gyors elemzését és modellezését, intuitív és felhasználóbarát kezelőfelülettel. A QTM átfogó vizualizációs, szerkesztési, automatikus osztályozási, extrahálási és elemzési eszközöket kínál, amelyek támogatják a komplex térbeli feladatok gyors és pontos végrehajtását.

Weblap: https://appliedimagery.com/features/

Mire használható?

- Nagy mennyiségű 3D adat interaktív betöltése, megjelenítése és vizualizációja (pontfelhők, felszínmodellek, színezés magasság vagy kép alapján)
- Gyors és intuitív pontfelhő vizsgálat: attribútumok színezése, pontok egyedi megvizsgálása, magasság-összevetés ismert pontokkal
- Pontfelhő szerkesztése: zaj eltávolítása, pontok kivágása, átsorolása, vektoros elemek körüli területek módosítása
- Automatikus osztályozás és épületkinyerés: épülettérképek, tetőkontúrok, középpontok létrehozása, DSM és DTM generálás pár kattintással
- Kiterjedt 3D elemző eszköztár: távolság- és lejtéselemzés, látóvonal- és helikopter leszállóhely elemzés (USA verzió), áradási és kommunikációs elemzések
- Kiterjedt pontattribútum analízis és szűrés, statisztikai jelentések, döntéstámogató eszközök
- Adatkeresés és kezelés: nagy adatbázisok indexelése, geoadatok gyors megtalálása és kezelése
- Kommunikáció és termékgyártás: 3D jelenetek annotálása, prezentációk, animációk, export szabványos formátumokban (pl. SHP, KML/KMZ, GeoTIFF)

Érdemes megemlíteni a Quick Terrain Reader szoftvert, ami a QTM megjelenítő modulja. Ingyenesen letölthető pontfelhő és modell nézegető (vizualizációs) szoftver. Rengeteg formátumot, többek között LAS és LAZ formátumot is képes kezelni. Magassági színezést, intenzitásszínezést, és valódi RGB színezést képes megjeleníteni.

9.2.20 3D Survey

Fejlesztő: Modri Planet d.o.o.

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Fotogrammetriai és LiDAR adatfeldolgozás, pontfelhő feldolgozás, 3D modellezés, CAD kiértékelés, térfogat- és területszámítás

A 3D Survey egy komplex fotogrammetriai és pontfelhő feldolgozó szoftver, amely "mérnökök által mérnököknek" elvén működik. A szoftver támogatja mind a fotogrammetriai képfeldolgozást, mind a LiDAR pontfelhő kezelését egyetlen integrált munkafolyamatban. Különösen erős a drón alapú adatok feldolgozásában, támogatva számos kamera-, GNSS-, LiDAR- és SONAR-forrást. A 3D Survey lehetővé teszi a teljes projektek kezelését az adatgyűjtéstől a végső CAD exportig, valamint felhőalapú megosztási lehetőségeket kínál az ügyfelekkel való együttműködéshez.

Weblap: https://3dsurvey.si

Mire használható?

- LiDAR és fotogrammetria kombinált feldolgozása egyetlen szoftverben
- Pontfelhő generálás és feldolgozás: nagy pontosságú, textúrázott 3D hálók és felmérési minőségű pontfelhők előállítása
- Ground Control Points (GCP) integrálása a valós világhoz rögzített, pontos georeferáláshoz
- Digitális terepmodellek (DTM/DSM) és nagy felbontású ortofotók létrehozása
- Integrált CAD motor: 3D vonalak, pontok, poligonok rajzolása és szerkesztése pontfelhőn
- Térfogat- és területszámítás, szintvonal generálás, profil- és keresztmetszeti elemzések
- Automatikus pontrácsok létrehozása tereppontok kinyeréséhez magasvegetációs területeken
- Komplex adatformátum támogatás: e57, obj, las, tiff, png, jpg, mp4 és több tucat egyéb formátum
- CAD adatok exportálása szabványos formátumokban (DXF, DWG stb.) harmadik féltől származó szoftverekhez
- 3D Survey Cloud: felhőalapú adatmegosztás ügyfelekkel, platformfüggetlen hozzáférés (Windows, Apple, iOS, Android)
- Felhasználóbarát kezelőfelület egyszerűsített projekt kezeléssel és vizualizációval

9.2.21 FARO As-Built Suite

Fejlesztő: FARO Technologies Inc.

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő alapú BIM/CAD modellezés, épületmodellek készítése, dokumentáció készítés, deformációanalízis

A FARO As-Built Suite egy komplex szoftvercsomag, amely kifejezetten pontfelhő alapú CAD és BIM modellezésre lett kifejlesztve. A csomag három fő komponensből áll: As-Built Modeler, As-Built for AutoCAD és As-Built for Revit. A megoldás lehetővé teszi a 3D lézerszkennelt és fotogrammetriai adatok hatékony integrálását népszerű tervezőszoftverekbe, így az építészek, mérnökök és építőipari szakemberek pontosan modellezhetik a meglévő épületeket és infrastruktúrát.

Weblap: https://www.faro.com/en/Products/Software/As-BuiltTM-Software

Mire használható?

- Pontfelhő importálása, megjelenítése és kezelése különböző forrásokból
- 3D épületmodellek automatikus készítése pontfelhőből: falak, ajtók, ablakok, oszlopok, gerendák, tetők felismerése és BIM objektummá alakítása
- Pontos alaprajzok, homlokzati tervek és metszetek készítése pontfelhő szeletekből
- Gépészeti rendszerek (MEP) pontfelhő alapú modellezése: csővezetékek, HVAC rendszerek, elektromos vezetékek automatikus kiértékelése
- Acélszerkezetek és rácsostartók pontfelhő alapú modellezése, strukturális elemzés támogatása
- Geometriai elemek illesztése pontfelhőre: síkok, hengerek, kúpok, egyenesek precíz modellezése CAD objektumokká
- Ütközésvizsgálat tervezett modellek és valós pontfelhő adatok között, minőségellenőrzés
- Deformációanalízis és térfogat-számítás: földmunkák, építőanyag-halmok, ásatások pontos mérése
- Terepmodellek és topográfiai térképek készítése, digitális domborzatmodellek (DTM/DSM) generálása
- CAD és BIM adatok közvetlen exportálása szabványos formátumokban (DWG, DXF, IFC, RVT stb.)
- Fotorealisztikus vizualizáció és dokumentáció készítése, virtuális bejárások és animációk

9.2.22 LEICA Cloudworx

Fejlesztő: Leica Geosystems AG

Ár: C kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő integráció CAD/BIM platformokba, nagy pontfelhők kezelése, as-built modellezés, BIM munkafolyamatok

A Leica CloudWorx egy átfogó plugin csomag, amely lehetővé teszi a nagy pontfelhők közvetlen kezelését és modellezését a népszerű CAD és BIM platformokon. A szoftver a Leica Cyclone és JetStream technológiákon alapul, biztosítva a gyors és hatékony pontfelhő megjelenítést korlátlan méretű projektekhez. A CloudWorx pluginok jelentősen kibővítik a CAD/BIM szoftverek pontfelhő képességeit, akár 50%-kal növelve a produktivitást. A felhasználók az ismerős CAD/BIM kezelőfelületet használhatják, rövidítve a tanulási folyamatot a pontfelhő adatok kezelésekor.

Weblap: https://www.leica-geosystems.com

Mire használható?

- Nagy pontfelhők azonnali betöltése és kezelése CAD/BIM szoftverekben
- A CloudWorx plugin AutoCAD, Revit, Navisworks, BricsCAD és Bentley programok alá telepíthető közvetlenül.
- Pontfelhő megjelenítés: limit boxok és vágósíkik és különböző metszetek használata specifikus területek kijelölésére
- As-built épületmodellek gyors készítése Revitben: falak, padlók, oszlopok, csövek automatikus illesztése pontfelhőhöz
- Automatikus csőközéppont és átmérő felismerés, karimák és acél tartószerkezeti elemek illesztése
- TruSpace panoráma nézet intuitív navigációhoz és pontos vizualizációhoz
- Pontfelhő alapú munkafelületek és koordináta-rendszerek beállítása automatikusan
- Ütközésvizsgálat tervezett modellek és megvalósult állapot (pontfelhő) között
- SmartPicks és automatikus illesztő eszközök (OSNAP-szerű funkciók pontfelhőhöz)
- metszet- és alaprajzok gyors létrehozása pontfelhőből
- Cyclone, JetStream és Reality Cloud Stúdió (online felhőalapú tárhely) adatbázisok közvetlen elérése, verziókezelés
- Civil engineering alkalmazások: infrastruktúra, hidak, topográfiai modellezés Civil 3D integrációval

9.2.23 LEICA Cyclone 3DR

Fejlesztő: Leica Geosystems AG

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás - Pontfelhő integráció CAD/BIM platformokba, nagy pontfelhők kezelése, as-built modellezés, BIM munkafolyamatok

A Leica Cyclone 3DR egy olyan szoftver, amely a lézerszkenneléssel gyűjtött terepi adatokat alakítja át könnyebben kezelhető, vizualizálható és elemezhető modellekké. A pontfelhőből lehetőség van 3D modelleket generálni és különböző elemzéseket futtatni.

Weblap: geoweeknews.com+3leica-geosystems.com+3Geodeet+3

Mire használható?

- Pontfelhő előkészítése és tisztítása: A bemeneti pontfelhők zajos részeinek kiszűrése, tisztítása és a pontfelhő optimalizálása (ritkítása).
- Automatikus osztályozás (AI / gépi tanulás alapú klasszifikációk): A pontfelhő elemeit automatikusan besorolja különféle kategóriákba (például földfelszín, útfelület, épület, növényzet, légvezetékek, csövek, stb.), hogy gyorsabban lehessen tovább dolgozni az adatokkal.
- Háromszöghálós mesh és terepmodell generálás: A pontfelhő adatokat háromszögelés révén felületmodellekké alakítja, textúrázással kiegészítve, hogy vizuálisan könnyebben értelmezhető 3D modelleket kapjunk. 3D mesh felületmodell készülhet épületről egy virtuális bejáráshoz, vagy terepfelületről is, ahol a szoftver képes automatikusan a növényzetet leválogatni.
- Elemzések és vizsgálatok (inspekció, mérés, összehasonlítás): Térbeli mérések, távolságok, magasságkülönbségek, térfogatszámítás, valamint "as-built vs design" pontfelhő és BIM modell összehasonlítása. Jellegzetes elemek kinyerése, felismerése és vektorizálása, mint csövek, síkok, oszlopok, falak, vezetékek stb. Például csövek 3D geometriája modellezhető vissza a pontfelhőből, és egyszerűen készíthető 2D alap- és metszetrajz.
- Riportálás és publikálás: Dinamikus jelentéseket lehet létrehozni (2D és 3D elemekkel, képekkel, numerikus adatokkal), exportálhatók PDF-, CSV-, vagy BCF formátumok, integrálható BIM / CAD rendszerekbe (pl. IFC, Revit)
    - Interoperabilitás és integráció: Különféle formátumokban képes fogadni pontfelhőket, valamint CAD / BIM típusú fájlokat, része a Leica (illetve Hexagon) „reality capture" ökoszisztémának.

9.2.24 Archicad

Fejlesztő: Graphisoft

Ár: D kategória

Felhasználás: Utófeldolgozás – Pontfelhő megtekintés, elemzés és modellezés BIM projektekhez

Az Archicad a Graphisoft professzionális BIM (Building Information Modeling) tervezőszoftvere, amely komplex eszközöket kínál építészeti projektek megtervezésére és kivitelezésére. A legújabb Archicad verzió jelentősen fejlesztett pontfelhő kiértékelési és integrációs képességekkel rendelkezik, amelyek révén hatékonyan használható lézerszkennerből és fotogrammetriai felvételekből származó adatok kezelésére. A pontfelhő alapú modellezés révén az építészek gyorsan és pontosan hozhatnak létre valósághű, integrált épületmodelleket, könnyítve a meglévő állapotok rögzítését és új tervek kidolgozását.

Weblap: https://graphisoft.com/archicad

Mire használható?

- Pontfelhők importálása és megjelenítése különböző formátumokból (pl. E57, LAS, LAZ)
- Pontfelhő alapú 3D vizualizáció és interaktív adatkezelés közvetlenül a BIM környezetben
- Automatikus és manuális pontfelhő osztályozás, zajszűrés és adatoptimalizálás
- Pontfelhőből történő alapszerkezetek, falak, nyílászárók és más épületelemek részleges vagy teljes modellezése
- Meglévő épületek digitális rekonstrukciója és felmérése pontfelhő-adatok alapján
- Pontfelhő és BIM modell összevetése hibák, eltérések, torzulások felderítésére
- Hatékony munkafolyamatok integrációja más mérnöki és építészeti szoftverekkel
- Pontfelhő adatok előkészítése, tisztítása és részletes elemzése a tervdokumentáció részeként
- Támogatott munkafolyamatok a kivitelezési ellenőrzésekhez, örökségvédelemhez és felújítási projektekhez

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.-2022.

A korábbi kiadványokat keresse a kamara weboldalán (www.mmk.hu), a FAP pályaműveket tartalmazó menüben.

2023.

101.	SZILÁGYI Zsombor Dr.,	Az energiahordozók jövője
102.	BLAZSOVSZKY László	Szakmai útmutató felhasználási helyek gázellátását biztosító elosztóvezeték leágazásának létesítéséhez
103.	ÁKOSHEGYI György Dr., BORBÉLY Tibor, DIÓS András, EÖRDÖGH Zsolt	Medencés fürdők vízgépészeti tereinek tervezési szempontjai
104.	KISS Jenő dr., METZING Ferenc dr., CSERMELY Gábor, dr. HEGYI Dezső, KÖNCZÖL Gyula, DEZSŐ Zsigmond	Szakmai Útmutató az épületek, épületszerkezetek bontásához
105.	MÓGA István Dr.	Atomerőművi alapok
106.	BAK Edina, FEJES Gábor, HONTI Imre, HUDACSEK Péter, SCHELL Péter	Talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok, azok megtervezése és eredményeinek felhasználása a geotechnikai tervezői gyakorlatban
107.	EGRI Sándor, BUZÁS Zoltán	AutoCAD alapon készített tervdokumentációkból EHO szerinti XML fájl készítése (objektumsablon készítése)
108.	BONDOR Gabriella, CSORDÁS Szilveszter, KANOSIK Ilona, PÓLYA Endre, VARJÚ József	Szakmai ismeretek a jogosultsági vizsgára
109.	KAKUK Ilona	Az Informatikai Tervező Szakmai Útmutatója (109./1-2-3.)
110.	GIORIS Nikolaos, MENYHÁRT István Zsolt, OLÁH Róbert, TAKÁCS Bence dr., VASS Imre	Digitális mellékletek készítése az M.2 (2021.) mérnökgeodéziai tervezési segédlethez
111.	ZSIDAI László Dr., SARANKÓ Ádám Dr., SZABÓ Péter	Az additív technológiák terméktervezési és technológiai sajátosságai
112.	REINIGER Róbert, BARNA Sándor, BITE PÁLNÉ DR. PÁLFFY Mária, MIHICS Dalma, PINTÉR István	A Li-ion alapú akkumulátor, illetve akkumulátor részegység gyártás környezetvédelmi hatósági engedélyezésének környezetvédelmi alapkövetelményei - Szakmai segédlet környezetvédelmi szakértők, illetve hatósági eljárási szereplők részére
113.	TOKODY Dániel Dr., SCHOTTNER Károly, HADDAD Richárd, ADY László, ÁGOSTON Gergő, DRABIK Gergő, HAN Xiaoping, CSAPÓ Dániel, SZŰCS Marcell, FELHŐS Dávid Dr.	Napelemes rendszerekkel együttműködő energiatárolók létesítése
114.	GYIMESI András Dr., BOHÁCS Gábor Dr., SÜLLE Miklós, GÓDOR Balázs	Építőgépész mesteriskola tantárgyi felépítés és a hozzá kapcsolódó tematika kidolgozása
115.	BOROS János	Az atomerőművi rendszerek és rendszerelemek tervezésénél figyelembe vett elvek összefoglalása
116.	PRIMUSZ Péter Dr.	Hajlékony útpályaszerkezetek szükséges erősítőrétegének meghatározása roncsolásmentes teherbírásmérés alapján

117.	EGRI Sándor, BUZÁS Zoltán	AutoCAD alapon készített tervdokumentációkból EHO szerinti XML fájl készítése (objektumsablon készítése)

2024.

118.	SZABÓ Kinga Dr., ÓMAJTÉNYI András, TÓTH Péter, ZSIGMONDI András	A beruházáslebonyolító tevékenysége - Szakmai ajánlás a beruházáslebonyolító fogalmának meghatározására, felelősségére és jogosultságának szabályozására
119.	SZILÁGYI Zsombor Dr.,	Feladatok a klímacélok teljesítéséhez
120.	BLAZSOVSZKY László	A csatlakozóvezetékek és a felhasználói berendezések létesítésével kapcsolatos gyakorlat, és a változtatás szükségességének elemzése
121.	PÓLYA Endre, BALOGH Attila, ERDEI Tímea, VARJÚ József	Műszaki segédlet az orvostechnikai eszközpark üzemeltetéshez - Tervezési segédlet, szakmai útmutató, tananyag az MMK kötelező szakmai továbbképzéshez, valamint dokumentum egészségügyi létesítménymenedzsment és minőségmenedzsment részére.
122.	BOROS János, CSALLÓKÖZI Zoltán, DOBÓ István, HUNYADI Sándor, KÁLLAI-BORIK Róbert, PODONYI Gábor, SZITA Gábor, DR. SZÜCS Botond, PERGERNÉ NAGY Edit, GYŐRI Csaba	Magyarország villamosenergia ellátásának lehetőségei
123.	DR. TAKÁCS Bence, HRUTKA Bence Péter, TAKÁCS Regina	Szakmai útmutató vonalas létesítmények 3D modellezéséhez (geodéziai tervezők részére)
124.	LIPOVICS Tamás, SZENDEFY János, VÁSÁRHELYI Balázs	Kockázatok elemzése a mélyépítésben
125.	KAKUKK Ilona Klára, NÓGRÁDI Gábor	Informatikai Tervező Szakmai Útmutató
126.	EGRI Sándor	Az NMHH ESZTER aktuális verziójának használata során feltárt hiányosságok, problémák kezelése az AutoCAD programozási eszköztárával
127.	DR HANCZ Gabriella, DR. ENGI Zsuzsanna, JANCSÓ Béla	A kék-zöld infrastruktúra elemek tervezési irányelvei
128.	HAJNAL János, DR. KOREN Csaba, LITKEI Bálint, VÁLÓCZI Dénes György	A Közúti biztonsági auditjelentések szerepe az önkormányzatok pályázati gyakorlatában
129.	HÓZ Erzsébet, BORBOLÁNÉ KOVÁCS Gabriella, DR. MILETICS Dániel, PÁL Péter, VÁLÓCZI Dénes, VEDRŐDI Tamás	Személyi sérüléses közúti közlekedési balestek adatgyűjtési módszertana
130.	SZOMOLÁNYI Tiborné, LAKATOS István, LUKÁCS Tamás	Segédlet a megvalósulási dokumentációk készítéséhez, használatbavételi, fennmaradási és bontási engedélyek dokumentációinak elkészítési segédlete
131.	KATONA Gábor, FÜZÉR Ferenc, MOLNÁR Béla	Hírközlési hálózatok építési technológiai gyűjtemény - Bontások, útátfúrások, anyag és munkaigények összefoglaló tervezői anyag
132.	KOVÁCS József, NAGY Benedek, SZABÓ László, DR. SZEPESHÁZI Attila	Geotechnikai és tartószerkezeti tervező együttműködése talaj és felszerkezet egymásra hatásának vizsgálata esetén

133.	MÁRKUS Miklós, MUNTAG András	Ipari zajmodell adatszolgáltatási segédlet - Segédlet szakági tervezők részére környezeti zajmodell készítéséhez

2025.

134.	TUCZAI Attila, PÓLYA Endre, KERESE János, BELÁNYI Zsolt, TUCZAI Péter	Műtők klimatizálása
135.	SZILÁGYI Zsombor Dr.,	A kőolaj és a földgáz szerepének változása
136.	BLAZSOVSZKY László	Gázfogyasztó készülékek égéstermék-elvezetésének szabályozási anomáliái, és annak hátrányos gyakorlati következményei
137.	FELFÖLDI Krisztina, GÓDOR Balázs, NAGY Pál	Javaslat az Emelőgépek Biztonsági Szabályzat módosítására, korszerűsítésére
138.	BABOS Rezső, FARKAS Éva, PAPP Imre, VARRÓ Beáta	Farontó gombák határozója - Segédlet károsodási helyen való meghatározáshoz
139.	CSERMELY Gábor	JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés és építés – módszerére
140.	CSERMELY Gábor, RÉPÁS Balázs	Szakmai Útmutató a függesztett homlokzati szerkezetekről, ezen belül a kőburkolatú homlokzatokról
141.	ANTÓK Péter, TÖRÖK János, GALLYAS András, LUKÁCS Tamás	Hírközlő hálózatok. Ajánlott létesítési technológiák általános keretrendszere
142.	CSÖRGITS Péter, LEHOCZKY Máté, MOLNÁR Bálint, STENZEL Sándor	Pontfelhők kiértékelése a mérnöki gyakorlatban - Szakmai útmutató pontfelhők általános kezelésére és azokból történő vektoros kiértékelés támogatására