



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Földi lézerszkennerek alkalmazások

OE-AMK

2024

Hallgató neve: **Vida Zsolt**

Hallgató törzskönyvi száma: **T000552/FI12904/A-G**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Vida Zaián

Szakedolgozat száma: SZD2301261406115112

Törzskönyvi száma: T000552/FI12904/A-G

Neptun kódja:

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Földi lézerszkennerek alkalmazások

A dolgozat címe angolul: Ground-based laser scanner applications

A feladat részletezése:

Adjon áttekintést a napjainkban használatos mérési technológiákról!

Mutassa be a földi lézerszkennerek működési elveit!

Egy kiválasztott épületen végezzen el szkennelést!

Végezze el a mért adatok feldolgozását!

Ismertesse a munka folyamatát és értékelje a kapott eredményeket!

Intézményi konzulens neve: László Gergely Tibor

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 25.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Szekesfehervár, 2024. 05. 14.

Lida Halón

hallgató aláírása

ABSTRACT

In recent decades, technological advances have boosted many industries, with innovative devices such as laser technology coming to the foreground. The use of lasers is widespread and inescapable in fields such as surveying, navigation, industry, missile defense, lightning protection, medicine, police and archaeology.

I first encountered the laser scanner at various instrument demonstrations and was immediately intrigued. So, when I was looking for an essay topic, I chose this one, Applications of Ground-based laser scanners.

The topic of my essay is the survey and drawing of the facade of the Székesfehérvár District Court, the operation and everyday use of the laser and the laser scanner.

During the survey, I used the Leica ScanStation C10 provided by the school and analysed in detail the principles and conditions of the laser. In the following I will describe in detail the construction and operation of the laser scanner and give an overview of its most common applications.

The data produced during the measurements will be processed. I will optimise the point clouds generated for use (delete redundant points) and merge the point clouds to create a single unit of the building wall. Using the clean point cloud, I create a facade drawing.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	1
2. A LÉZER TÖRTÉNETE	2
3. A LÉZERFÉNY JELLEMZŐI	4
3.1 A lézerek jellemzői.....	4
3.2 Természetes fény és lézerfény jellemzői.....	5
3.2.1 Elektromágneses spektrum	5
3.2.2 Lézer	7
3.3 Lézerek csoportosítása.....	9
4. A LÉZERSZKENNELÉS TECHNOLÓGIÁJA	12
4.1 Lézerszkennelők története.....	12
4.2 A lézerszkennelés előnyei	18
4.3 A lézerszkennelés hátrányai	20
4.4 A statikus és a mobil szkennelés közötti különbségek.....	21
4.5 Lézerszkennelők felhasználások	23
4.6 Lézerszkennelés felhasználása napjainkban.....	24
4.7 Lézerszkennelők működése	29
4.8 Háromszögelés működése	29
4.9 Pontfelhők	31
4.10 Homlokzat rajz	33
4.11 A szkennelők teljesítményét befolyásoló paraméterek (hibaforrások)	34
4.11.1 Műszerhiba	35
4.11.2 A szkennelt tárgy formájával és jellegével kapcsolatos hibák	36
4.11.3 A környezet által okozott hibák.....	37
4.11.4 Mérés módszer hibák.....	38
5. JÁRÁSBÍRÓSÁG FELMÉRÉSE	40
5.1 Műszer felépítése.....	40
5.2 A műszer specifikációi és működése.....	40
5.3 A mérés folyamata.....	41
6. FELDOLGOZÁS	45

6.1 Importálás	45
6.2 Pontfelhő tisztítás	45
6.3 Pontfelhő összefűzés	46
6.4 Homlokzatrajz elkészítése	49
7. ÖSSZEGZÉS	54
8. SUMMARY	56
9. IRODALOMJEGYZÉK.....	58

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a technológiai fejlődés lendületet adott számos iparágban, és egyre inkább előtérbe kerültek olyan innovatív eszközök, mint például a lézer technológia. A lézer alkalmazása széles körben elterjedt, és megkerülhetetlenül jelen van olyan területeken, mint a földmérés, a navigáció, az ipar egyes területei, a rakétaelhárítás, a villámvédelem, az orvostudomány, a rendőrség és a régészet.

Lézerszkennerral először különféle műszerbemutatókon találkoztam és egyből felkeltette az érdeklődésemet. Így amikor szakdolgozat témát kerestem, ebben a témakörben választottam, a Földi lézer szkennerek alkalmazásait.

Szakdolgozatom témája a Székesfehérvári Járásbíróság homlokzatának felmérése és homlokzatrajz készítése; a lézer és a lézerszkennerek működésének és mindennapi használatának bemutatása.

A mérés során, az iskola által biztosított Leica ScanStation C10 típusú eszközt vettem igénybe, és részletesen elemeztem a lézer működési elveit és feltételeit. A továbbiakban részletesen bemutatom a lézerszkennerek felépítését és működését, továbbá áttekintést nyújtok leggyakoribb alkalmazási területeiről.

A mérések során keletkezett adatok feldolgozását hajtom végre. A keletkezett pontfelhőket optimalizálom a felhasználáshoz (felesleges pontokat kitörlöm), a pontfelhőket összefűzöm, hogy egy egységben jelenjen meg az épület fala. A tiszta pontfelhő segítségével homlokzatrajzot készítek.

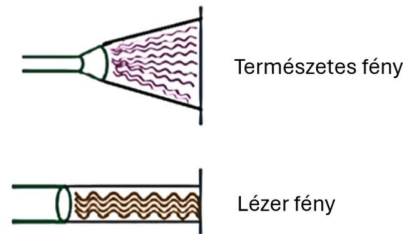
2. A LÉZER TÖRTÉNETE

A lézer olyan eszköz, amely fényt bocsát ki az elektromágneses sugárzás stimulált emisszióján alapuló optikai erősítési folyamat révén. A lézer szó egy mozaikszó, amely a fényerősítés stimulált sugárzási emisszióval történő erősítése angol megfelelőjének rövidítéséből származik. Az első lézert 1960-ban Theodore Maiman építette meg a Hughes Research Laboratories-ban, Charles H. Townes és Arthur Leonard Schawlow elméleti munkája alapján (1. ábra). [3]



1. ábra A világ első lézere [1]

A lézer abban különbözik más fényforrásoktól, hogy koherens fényt bocsát ki. A térbeli koherencia lehetővé teszi a lézer fókuszálását egy szűk pontra, ami olyan alkalmazásokat tesz lehetővé, mint a lézervágás és a litográfia. A koherencia azt is lehetővé teszi, hogy a lézersugár nagy távolságokra is keskeny maradjon (kollimáció), ami olyan alkalmazásokban használatos, mint a lézermutatók és a LiDAR (fényérzékelés és távolságmérés). A lézerek nagy időbeli koherenciával is rendelkezhetnek, ami lehetővé teszi számukra, hogy nagyon keskeny frekvenciaspektrumú fényt sugározzanak. Alternatívaként az időbeli koherencia felhasználható ultrarövid, széles spektrumú, de akár egy femtoszekundumos időtartamú fényimpulzusok előállítására is (2. ábra). [3]



2. ábra Lézerfény terjedése. [2]

Lézereket használnak optikai lemezmeghajtókban, lézernyomtatókban, vonalkódszkennerekben, DNS-szekvenáló műszerekben, száloptikai és szabad térbeli optikai kommunikációban, félvezető chippek gyártásában (fotolitográfia), lézeres sebészetben és bőркеzelésben, anyagok vágásában és hegesztésében, katonai és rendvédelmi eszközökben a célok jelölésére, valamint a távolság és a sebesség mérésére, továbbá szórakoztató lézeres világítású kijelzőkben. Félvezető lézereket a kék és a közeli ultraibolya tartományban a fénykibocsátó diódák (LED-ek) helyett a fluoreszcencia gerjesztésére fehér fényforrásként is használtak; ez a lézer sokkal nagyobb sugárzása miatt sokkal kisebb kibocsátási területet tesz lehetővé, és elkerüli a LED-eknél tapasztalható kiesést; ilyen eszközöket már használnak egyes autófényszórókban. [3]

3. A LÉZERFÉNY JELLEMZŐI

3.1 A lézerek jellemzői

A lézerfénynek számos eltérő jellemzője van a közönséges fényforrással szemben:

- Koherencia
- Irányítottság
- Monokromatikusság
- Nagy intenzitás

1. Koherencia

A látható fény a gerjesztett elektronoktól (a magasabb energiaszint elektronjai) az alacsonyabb energiaszintre (alapállapotba) való lejutástól kapja a sugárzást. [4]

2. Irányultság

A hagyományos fényforrásokban, mint a lámpák, zseblámpák, villanykörték stb. a fotonok véletlenszerű pontokon mozognak. Mint ilyenek, ezek a források minden lehetséges irányba szórják a fényt. A lézerek egy adott fókuszált irányban bocsátanak ki fényt. [4]

3. Monokromatikusság

A monokromatikus fény olyan fénysugarat jelent, amely meghatározott hullámhosszt tartalmaz. A természetes fényforrásokból származó fotonok többféle energiát, hullámhosszt és színt tartalmaznak.

A lézer tulajdonságai hasonlóak a monokromatikus fényéhez

1. Frekvencia
2. Hullámhossz
3. Szín [4]

4. Nagy intenzitás

A hullámintenzitás az egységnyi normál területen egységnyi idő alatt átáramló energia. A közönséges fényforrásból származó fény minden irányba terjed. A lézer fénye egy adott irányba fókuszálódik. [4]

3.2 Természetes fény és lézerfény jellemzői

3.2.1 Elektromágneses spektrum

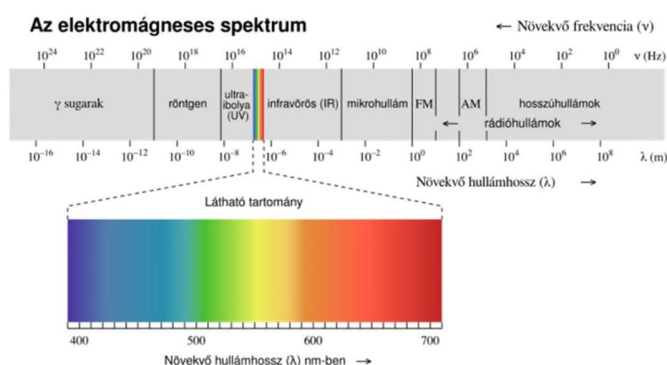
Természetes fény

Az elektromágneses spektrum az elektromágneses sugárzás hullámhosszának és frekvenciájának folyamatos tartománya, amely magában foglalja a rádióhullámokat, mikrohullámokat, infravörös, látható fényt, ultraibolya, röntgen- és gammasugarakat. Az elektromágneses hullámok különböző közegekben, például levegőben, üvegben vagy vízben, valamint vákuumban is terjedhetnek, és vákuumban mind a fénysebességgel terjednek, körülbelül 3×10^8 méter másodpercenként. Az elektromágneses spektrum hullámhossz vagy frekvencia alapján több régióra osztható (3. ábra): [5]

1. Rádióhullámok: Ezek a leghosszabb hullámhosszúak (kb. 1 millimétertől 100 kilométerig) és a legalacsonyabb frekvenciájúak (kb. 3 kHz-től 300 GHz-ig). [5]

2. Mikrohullámok: A mikrohullámok hullámhossza körülbelül 1 millimétertől 1 méterig, frekvenciája pedig körülbelül 300 MHz-től 300 GHz-ig terjed. [5]
3. Infravörös (IR): Az infravörös sugárzás hullámhossza körülbelül 700 nanométertől (nm) 1 milliméterig, frekvenciája pedig körülbelül 300 GHz-től 430 THz-ig terjed. Az infravörös sugárzást olyan alkalmazásokban használják, mint a hőkamerás képalkotás, a távérzékelés, az éjszakai látás és az optikai szálak kommunikáció. [5]
4. Látható fény: Az elektromágneses spektrumnak az emberi szem által érzékelhető kis része, amelynek hullámhossza körülbelül 400 nm (ibolya) és 700 nm (vörös) között mozog, frekvenciája pedig körülbelül 430 THz és 790 THz között van. A látható fény felelős a színek érzékeléséért, és számos alkalmazásban használják, többek között a látásban, a fényképezésben és a megvilágításban. [5]
5. Ultraibolya (UV): Az ultraibolya sugárzás hullámhossza körülbelül 10 nm és 400 nm között, frekvenciája pedig körülbelül 790 THz és 30 PHz között van. Az UV-fényt olyan alkalmazásokban használják, mint a sterilizálás, a napozás és a D-vitamin előállítás a bőrben. [5]
6. Röntgensugarak: A körülbelül 0,01 nm és 10 nm közötti hullámhosszúságú és körülbelül 30 PHz és 30 EHz közötti frekvenciájú röntgensugarak nagy energiával rendelkeznek, és számos anyagon képesek áthatolni, így hasznosak az orvosi képalkotás és az anyagelemzés területén. [5]
7. Gamma-sugárzás: Ezek rendelkeznek a legrövidebb hullámhosszúsággal (kevesebb mint 0,01 nm) és a legmagasabb frekvenciával (több mint 30 EHz) az elektromágneses spektrumban. A gammasugarak nukleáris reakciók, kozmikus

események és radioaktív bomlások során keletkeznek. Olyan alkalmazásokban használják őket, mint a rákkezelés (sugárterápia), sterilizálás és a radioaktív anyagok kimutatása. [5]



3. ábra Az elektromágneses spektrum [6]

3.2.2 Lézer

Irányultság

A lézerfénynek nagyon kicsi a divergenciája. Nagymértékben irányított. A lézersugár az üregrezonátorból származik, és csak a rezonátor tengelyéhez közel terjedő hullámok képesek fenntartani az üregben a rezgéseket.

A kibocsátott sugár irányultságát a lézerüreg tükörkonfigurációja határozza meg. A legegyszerűbb felépítésben az üreg két tükörből áll, amelyek úgy vannak elrendezve, hogy a fény oda-vissza pattog, és minden alkalommal áthalad az erősítő közegen. A két tükör közül az egyik, a kimeneti csatoló részben átlátszó, így a kimeneti sugár ezen keresztül léphet ki. A lézerüreg szerkezete meghatározza a lézersugár irányítottságát vagy kollimációját, ami viszont meghatározza a lézersugár kis pontba fókuszálhatóságát. [7]

Az irányítottságot a fénysugár divergenciaszöge írja le.

Tökéletes térbeli koherens fény esetén a D nyílásátmérőjű sugár a diffrakció miatt elkerülhetetlenül divergenciával rendelkezik. A diffrakció elméletéből a θ_d divergencia-szög a következő:

$$\theta_d = \beta \lambda / D$$

Itt λ és D a sugár hullámhossza, illetve átmérője, β egy együttható, amely a fény amplitúdóeloszlásának típusától és a sugár átmérőjének meghatározásától függ. Értéke az egység közelében van. θ_d -t diffrakciókorlátozott divergenciának nevezzük.

Ha a sugárnyaláb részben térbeli koherens, akkor divergenciája nagyobb, mint a diffrakciókorlátozott divergencia. Ebben az esetben a divergencia $\theta = \beta \lambda / (A_c)^{1/2}$. Itt az A_c a koherencia területe. [7]

Tekintsük a $\lambda = 1.06 \times 10^{-3}$ mm, $D = 2$ mm, $\beta = 1.1$ hullámhosszú lézert fényt, akkor $\theta_d = \beta \lambda / D$

$$= 1.1 \times 1.06 \times 10^{-3} / 2 = 0.5831 \times 10^{-3} \text{ rad} = 0.033401^\circ.$$

A keresőfényező fényszöge $8-10^\circ$. Egy normál zseblámpa szóródási szöge $20-30^\circ$. [7]

Fényerő

A fényforrás fényerejét az egységnyi felületre és egységnyi térszögre jutó teljesítményként határozzuk meg. Egy P teljesítményű, D átmérőjű kör alakú lézersugár és θ divergenciaszögű, $\pi\theta^2$ szöget bezáró sugárnyaláb esetében a lézersugár fényereje a következőképpen határozható meg:

$$B = 4 P / (\pi D \theta)^2$$

A maximális fényerő akkor érhető el, ha a sugár tökéletesen térbeli koherens.

$$B_{\max} = 4 P / (\pi \lambda \beta)^2$$

Korlátozott diffrakció esetén ($\theta_d = \lambda \beta / D$, $D = \lambda \beta / \theta_d$, $\theta_d = \theta$). [7]

3.3 Lézerek csoportosítása

A lézerfények 5 fő csoportra bonthatók fel az aktív közeg halmazállapota szerint:

- Gázlézer
- Folyadéklézer
- Félvezető lézer
- Szilárdtest lézer
- Optikai szálak lézer

Gázlézerek

A gázlézereknél feszültséget alkalmaznak egy üveg- vagy kerámia-csőben, amely az erősítési közegét tartalmazza, amely vagy alacsony nyomású gáz vagy gázkeverék. A feszültség elektromos mezőt hoz létre a csőben, amely elektromos áramot indukál. Ezek az elektronok ütköznek a gázatomokkal, ezáltal magasabb energiaszintre gerjesztve őket, amely a felső lézerszintként szolgál. Az alsó lézerszint jellemzően sokkal gyorsabban bomlik alapállapotba, mint a felső szint, ezáltal populációs inverzió jön létre a kettő között. [26]

Folyadéklézerek

Bizonyos szerves festékmolekulák a lézerek sugárzó fajaiként működhetnek, mivel felső energiaszintjükön kellően hosszú élettartamúak, és ezért az ütközések miatti energiavesztés helyett energiát sugározhatnak ki erről a szintről. A sugárzó anyagok megfelelő koncentrációjának biztosítása érdekében a festékmolekulákat (jellemzően por formájában) oldószerben oldják fel, körülbelül egy a tízezerhez koncentrációban. Ennek az oldatformának köszönhetően a rendszert folyékony festéklézernek nevezik. A festéklézereket optikailag vagy villanólámpákkal, vagy más lézerekkel pumpálják. [26]

Félvezető lézerek

A félvezető lézert gyakran nevezik lézerdiódának, mivel úgy működik, mint egy dióda, amelyben az áram az átmenet előremenő irányában folyik. A töltéshordozók bejuttatásával az átmenet által meghatározott tartományba rekombinációs sugárzás jöhet létre. Amennyiben ez az árambefecskendezés elég erős, populációs inverzió érhető el, és stimulált emisszió lép fel. A félvezető anyag és a levegő közötti nagy törésmutató-különbség miatt a félvezető kristályfelület elegendő reflexiós képességgel rendelkezhet ahhoz, hogy saját rezonátorüregként működjön. [26]

Szilárdtest lézerek

A szilárdtest-lézer kifejezés olyan lézerre utal, amelynek erősítő közege egy optikailag átlátszó gazdaanyagba (jellemzően kristályok vagy üvegek) szennyeződésként bevitt aktív ionfajokból áll. A belső, nem teljes elektronhéjak állapotai közötti optikai átmenetekkel rendelkező ionok általában rendelkeznek ezekkel a jellemzőkkel. Ezeket az ionokat azonban védeni vagy árnyékolni kell más ionoktól, hogy megakadályozzák a kívánt jellemzők elvesztését. [26]

Optikai szálás lézerek

Amikor egy szilárdtest erősítő közeget optikai szálba gyártanak, és egy rezonátort integrálnak, akkor egy szálás lézer jön létre. A lézerek ezen osztályát általában külön kezelik a szilárdtest-lézerektől a szálak egyedi fényvezető tulajdonságai miatt, pl. a nagy távolságokon való erős térbeli bezártság miatt. Az optikai szálás lézer olyan lézer, amelyben az optikai szál maga az erősítő közeg, ami megkülönböztethető attól, hogy egy másik típusú lézer vagy erősítő közeg egyszerűen egy optikai szálhoz van kapcsolva. A lézeraktív ionokat jellemzően az optikai szál magjába adalékolják, amely egy üvegből készült gazdaanyag. [26]

Ezek a különféle lézertípusok széles skáláját használják az ipari, orvosi, kutatási és egyéb területeken, és mindegyikük fontos szerepet játszik a modern technológiák fejlődésében és alkalmazásában.

4. A LÉZERSZKENNELÉS TECHNOLOGIÁJA

4.1 Lézerszkennerek történelme

A lézerszkennelés az 1960-as években született, amikor a felületek profiljának pontos rögzítésére törekedtek.

Az első lézerszkennerek fények, projektorok és kamerák segítségével végezték a munkát, és egy tárgy letapogatása rendkívül sok időt vett igénybe.

A végeredmény azonban ekkor még nem volt túl pontos. 1985-től új szkennertechnológia fejlődött ki, amely fehér fényt, lézert és árnyékot kezdett használni a tárgy megörökítéséhez.

Ezek is nehézkes és lassú eszközök voltak, és az akkori számítástechnikai követelmények még nem voltak elég fejlettek ahhoz, hogy megbirkózzanak a követelményekkel. [10]

1992 – A kezdet

Az első kereskedelmi forgalomban kapható szkennerek (a Soisic szkennerek) 1992-ben váltak elérhetővé, amelyek másodpercenként 100 pontot tudtak leolvasni, maximum 10 méteres hatótávolsággal. Ezt a szkennert a Mensi gyártotta (később a Trimble vásárolta fel).

Ezt a szkennert az Amec 2001-ben kipróbálta egy technológiai üzemben, de túl sok problémát találtak benne ahhoz, hogy akkoriban felmérési eszközként lehessen használni. [10]

1998 – Az első hordozható szkennerek

A Ben Kacrya által alapított Cyra Technologies megalkotta az első, földmérők és mérnökök által használt lézerszkennert, a Cyraxot (4. ábra).

Ez egy hordozható szkennert volt, bár az akkumulátorral és a lappal együtt körülbelül 40 kg-ot nyomott. Ez 40° x 40°-os szögben (vagy látómezőben - FOV) és másodpercenként 1200 ponton szkennelt akár 50 méteres távolságban egy sima fehér felületre. [10]



4. ábra Cyrax szkennert akkumulátorral [10]

Az egyik folyamatos probléma a szkennert által a 3D objektumhoz létrehozott fájl mérete.

A 3D lézerszkennelés elvégzéséhez szükséges berendezések már léteztek használható formátumban, azonban az akkori számítógépek nehezen tudták kezelni a nagy adatmennyiséget. [10]

2002 - Fejlődés

2002-ben a Leica továbbfejlesztette a HDS 2400-at a HDS 2500-ra, amely 6 milliméteres pontossággal, 50 méteres maximális hatótávolsággal és másodpercenként 1500 ponttal rendelkezett, még mindig 40° x 40°-os látószöggel. [10]

2004 - Az első 360 fokos szkennert

A fejlesztések ütemesen folytatódtak, és 2004-ben a Leica bemutatta a HDS 3000 szkennert, amely jelentős előrelépést jelentett a technológiában. Bár a pontosság, a hatótávolság és a

sebesség hasonló volt a HDS 2500-hoz, a látószög $360^\circ \times 270^\circ$ -ra nőtt, és a mérés 30-40 percet vett igénybe. [10]

2004 - A sebesség és a hatótávolság növekedése

A szkennelési sebesség és a hatótávolság elképesztő mértékben javult, a Riegl olyan szkennereket gyártott, amelyek másodpercenként 12 000 pontot és akár 100 m távolságot produkáltak $360^\circ \times 80^\circ$ -os látószöggel. Más földmérési beszállítók is követték a példát, többek között a Topcon, a Trimble és a Faro. [10]

2006 - Könnyebbé vált a mennyezetek szkennelése

A cégek tovább fejlesztették a szkennereket, a Leica kiadta a HDS 6000-et, amely $360^\circ \times 270^\circ$ -os látószöggel, 6 mm-es pontossággal 50 méteren és mindössze 3,5 perces szkennelési idővel rendelkezik, másodpercenkénti 500 000 mérésnél (5. ábra).

Ez volt az első olyan szkennер, amely a függőleges tengelytartományt 80° -ról 270° -ra növelte. Ez nagyban megkönnyítette a mennyezetek és a szkennер feletti tárgyak szkennelését. [10]



5. ábra Leica HDS 6000 [10]

2009 – Az első 1 millió pont/másodpercenkénti szkennert

2009-ben a Leica megalkotta a P20 lézerszkennert, amely másodpercenként 1 millió mérést végzett, a teljes 360°-os letapogatáshoz szükséges mérési idő pedig 6 percre csökkent. A pontosság továbbra is 5 mm maradt 50 m-es távolságon (6. ábra). [10]



6. ábra Leica P20[8]

2013 – Ár csökkenés

2013 októberében a Faro kiadta a továbbfejlesztett Focus X330-as szkennert, amely 976 000 pontot produkált másodpercenként, 5 mm-es pontossággal és 330 méteres maximális hatótávolsággal (7. ábra).

Ennek a szkennereknek az ára igen jelentős volt, mivel 40 000 fontba került, mintegy 20 000 fonttal olcsóbban, mint az akkori versenytársak.

Ez azt eredményezte, hogy sok felmérő cég vásárolt lézerszkennert anélkül, hogy képes lett volna 3D modelleket készíteni a kapott pontfelhőkből, amelyek ekkorra már hatalmas méretűvé váltak. [10]



7. ábra Faro X330 [9]

2019 – 2 millió pont/másodpercet elérte az automatikus regisztrációval

2019-ben a Leica gyártotta az RTC 360 lézerszkennert. Ez ismét előrelépést jelentett a technológiában, és számos olyan funkciót épített be, amelyet a mérnökök kértek (8. ábra).

Ez a szkennер megduplázta a rögzítési sebességet másodpercenként 2 millió pontra, ami mindössze 30 másodperces, illetve színesben 90 másodperces felmérési időt eredményezett álláspontonként.

Ez az első olyan szkennер, amely kamerákat és IMU-t használ a pozíciókövetéshez és az automatikus regisztrációhoz a helyszínen. [10]



8. ábra Leica RTC 360 [10]

2024 – Tovább fejlődés

Faro Focus Premium 70 a jelenleg egyik legfejlettebb lézerszkennér.

- 350 méteres pásztázási tartomány, jobb lefedés érdekében.
- Okostelefonos távvezérlési képességek Wi-Fi hálózaton keresztül.
- Javított vezeték nélküli munkafolyamat stabilitása és gyorsasága.
- Helyszíni regisztráció lehetősége, amely gyorsabb munkavégzést és valós idejű hibajelzést tesz lehetővé.
- A szkennér vezérlése alkalmazáson keresztül.
- Felhasználóbarát felület a projektkezeléshez és a szkennelési beállítások módosításához.
- Beépített nagy sebességű SSD adattároló a maximális szkennelési kapacitás és gyors feldolgozás érdekében. [25]

A 3D lézerszkennelés jövője

A 3D lézerszkennelés jövője hihetetlenül ígéretes. A technológia fejlődésével még pontosabb és gyorsabb szkennelési folyamatokra számíthatunk. Emellett a mesterséges intelligencia és az automatizálás integrálása tovább fogja fokozni a lézerszkennerek képességeit.

Konklúzió

A lézerszkennerek az elmúlt 20 évben sokat fejlődtek, és úgy tűnik, hogy nem fognak egyhamar lelassulni.

Az iparág évről évre növekszik, egyre több vállalat vásárol lézerszkennert, és nem csak ez, hanem egyre több projekt igényel kiváló minőségű, 3D pontos pontfelhő adatokat, amelyek csak 3D lézerszkennerekkel érhetők el. [10]

4.2 A lézerszkennelés előnyei

1. Gyors mérés

A 3D lézerszkennerral történő adatrögzítés gyors sebessége lehetővé teszi több millió adatpont másodpercek alatt történő rögzítését. Ez biztosítja, hogy nagy környezetek rövid időn belül felmérhetők legyenek, és a 3D-s felmérés ideális a különösen időérzékeny projekteken végzett munkákhoz, amikor a gyors átfutási idő létfontosságú. A 3D mérési folyamat gyors jellege nagymértékben csökkenti a helyszínen szükséges munkaórákat, valamint a létesítmények leállítását és az általános zavarokat. Ez a veleszületett gyorsaság és rugalmasság hatalmas előnyökkel jár a mérési ipar számára, és ez az egyik oka annak, hogy a 3D lézerszkennelést egyre szélesebb körben alkalmazzák. [11]

2. Csökkentett munkahelyi kockázat

A 3D szkennerral történő mérés távérzékelési jellege ideális a veszélyes vagy nehezen hozzáférhető területeken. A 3D szkennerek lehetővé teszik a felmérők számára, hogy a

környezetet anélkül rögzítsék, hogy fizikailag be kellene jutniuk a területre. Ez csökkenti a költséges és fáradtságos munkavédelmi intézkedések szükségességét, és biztosítja a 3D felmérők biztonságát. [11]

3. Érintésmentes adatrögzítés

A 3D lézerszkennelés érintésmentes és nem invazív jellege ideális az érzékeny tárgyak vagy környezetek esetében. Az örökségvédelmi vagy kulturális ágazatban megőrzendő tárgyak, amelyeket a 3D felméréssel nyert adatokból esetleg reprodukálni kell, minimális vagy semmilyen fizikai interakció nélkül szkennelhetők. Ez biztosítja, hogy az érzékeny tárgyak sérülése, megzavarása és elmozdulása a helyszínen szinte egyáltalán nem jelent kockázatot. [11]

4. Részletes dokumentáció

A szkennelési eljárással rögzített 3D adatok olyan átfogóak, hogy szinte minden részletet rögzítenek. A kihagyás esélye óriási mértékben csökken, a hiba kockázata nagyon kicsi. Ez a hatalmas részletesség általában teljesen kiküszöböli annak szükségességét, hogy a helyszínt újra felkeressük, mert a felmérési folyamat során elmulasztottuk a méréseket. A részletes dokumentációs folyamat azt is lehetővé teszi, hogy a 3D felmérők (és valójában a végső ügyfelek) virtuálisan is meglátogassák a helyszíneket pontfelhős séták vagy interaktív 360 képnézetek segítségével. Ez ismét segíti a "tényleges" helyszíni látogatás szükségességének kiküszöbölését, amikor a virtuális látogatások annyira valóságűek és könnyen megkönyíthetők. [11]

5. Költség- és időmegtakarítás

A 3D lézeres felmérés által elérhető költség- és időmegtakarítás abból adódik, hogy az adatrögzítés gyorsasága csökkenti a munkaerőigényt és a munkahelyi balesetek kockázatát, így az ügyfélnek kevesebbet kell költenie. Ez a helyszínen töltött kevesebb munkaórával, a létesítmények és a környezet minimális megzavarásával és leállításával, valamint a szükséges munkahelyi baleseteket megelőző intézkedések csökkentésével érhető el. [11]

4.3 A lézerszkennelés hátrányai

Időjárási korlátok: Néhány rendszer nem hatékony napsütésben vagy esőben.

Adatfeldolgozási idő: A nagy méretű 3D-s adathalmazok előállítása utólagos feldolgozást igényel a használható kimenet előállításához.

Pontossági problémák: Az élek kiemelése homályos pontfelhőkből kihívást jelenthet, ami befolyásolhatja az adatok pontosságát.

Közös formátum hiánya: Jelenleg nincs egyetlen általánosan elfogadott adatcsere-formátum, ami nehezítheti az adatok megosztását és összehangolását más platformokkal.

Technológiai fejlődés: A lézerszkennelés technológiája gyorsan változik, és nehéz lehet lépést tartani a fejlesztésekkel.

Költségek: A lézerszkenneléshez szükséges drága hardver és bonyolult szoftver jelentős befektetést igényelhet. [25]

4.4 A statikus és a mobil szkennelés közötti különbségek

A statikus szkennelés és a mobil szkennelés két különböző megközelítés a lézerszkennelés területén belül, mindegyiknek megvannak a maga jellemzői, előnyei és alkalmazásai:

1. Pontosság és precizitás:

- A statikus szkennelés a nagy pontosságot és precizitást helyezi előtérbe, így olyan alkalmazásokhoz alkalmas, ahol a részletes és pontos mérések elengedhetetlenek, mint például a visszafejtés és a törvényszéki elemzés.

- A mobil szkennelés feláldoz bizonyos szintű pontosságot és precizitást a sebesség és a mobilitás javára, így alkalmasabb a nagyobb területekre kiterjedő gyors adatgyűjtésre, például építési projektek felügyeletére vagy bányászati műveletekre. [12]

2. Gyorsaság és mobilitás:

- A statikus szkennelés jellemzően a szkennert egy rögzített helyen történő felállítását és a környezet ebből a helyről történő szkennelését jelenti, ami időigényes és a mobilitás szempontjából kevésbé rugalmas lehet.

- A mobil szkennelés során a szkennelés mozgás közben történik, járművekbe szerelt vagy egyének által hordozott eszközökkel, ami lehetővé teszi a gyors adatgyűjtést nagy területeken, nagyobb mobilitás és rugalmasság mellett. [12]

3. Alkalmazások:

- A statikus szkennelést általában részletes felmérésekhez és mérésekhez használják különböző területeken, például az építészetben, a mérnöki és építőiparban, valamint a törvényszéki szakértésben, ahol a pontosság kritikus fontosságú.

- A mobil szkennelés olyan projekteken talál alkalmazást, amelyek kiterjedt területeken történő gyors adatrögzítést igényelnek, mint például az építési projektmenedzsment, az infrastruktúra felügyelete, a várostervezés és a bányászati műveletek. [12]

4. Szemcsézettség és részletesség:

- A statikus szkennelés jellemzően nagyobb felbontású, részletes pontfelhőkkel rendelkező adatokat állít elő, lehetővé téve a szerkezetek és környezetek bonyolult elemzését és modellezését.

- A mobil szkennelés, bár gyorsabb, alacsonyabb felbontású, kevésbé részletes adatokat eredményezhet, amelyek bizonyos alkalmazásokhoz elegendőek lehetnek, de bizonyos összefüggésekben nem rendelkeznek a részletes elemzéshez szükséges pontossággal. [12]

5. Költség és bonyolultság:

- A statikus szkennelő berendezések általában drágábbak, és a hatékony működtetésükhöz több szakértelemre lehet szükség, mivel a nagy pontosságra és a részletes adatrögzítésre helyezik a hangsúlyt.

- A mobil szkennelési megoldások gyakran költséghatékonyabbak és felhasználóbarátabbak, gyors adatrögzítést kínálnak viszonylag egyszerűbb munkafolyamatok mellett, ami csökkentheti a projekt teljes költségét és idejét (9. ábra). [12]

Összefoglalva, míg a statikus szkennelés a pontosságot és precizitást helyezi előtérbe a részletes mérések és elemzések érdekében, addig a mobil szkennelés a gyorsaságra, mobilitásra és költséghatékonyságra összpontosít a nagy területekre kiterjedő gyors adatrögzítés érdekében. Mindkét megközelítésnek megvannak a maga erősségei, és különböző alkalmazásokhoz és projektkövetelményekhez illeszkednek olyan területeken, mint az építőipar, a mérnöki tevékenység, a bányászat és a várostervezés.



9. ábra Mobil szkennér [13]

4.5 Lézerszkennér felhasználások

- Építéskori felmérés, valóságfelvétel vagy meglévő állapotfelmérés
- Építési ellenőrzés, sorrendiség, ütemezés és szimuláció
- Tervezési tervezés létesítményfejlesztésekhez vagy -bővítésekhez
- Az épület 2D és 3D lézertérképe
- Előregyártás
- Ütközések felderítése
- Építészeti dokumentáció vagy műemlékvédelem
- Térfogatszámítás, deformációelemzés és légtávolságok kiszámítása
- Virtuális tervezés és kivitelezés
- Lézerszkennelés a létesítmény koordinálásához
- Térinformatikai adatok gyűjtése

- Digitális ikertestvér létrehozása
- Fejlett elemzések elvégzése az adatok egyszerű összesítése, lekérdezése, vizualizálása és elemzése egyetlen 3D-s modellben
- Bűnügyi helyszín rekonstrukció [14]

4.6 Lézerszkennelés felhasználása napjainkban

A 3D lézerszkennelést a legkülönbözőbb területeken használják, a régészettől és az építőmérnöktől kezdve a rendőrségen át a játék iparig. A 3D lézerszkennelés alkalmazásai szinte korlátlanok. A lézerszkennelés kiválóan alkalmas háromdimenziós alagút-, híd- és homlokzatmérésekhez, régészeti dokumentációhoz, csővezetékek modellezéséhez, térfogatmérésekhez és még sok máshoz. [28]

Építészet

A történelmi épületek és a sok hajlított elemet tartalmazó modern építmények gyakran nehezen mérhetők hagyományos mérőeszközzel. A műemlék épületek homlokzatainak és belső tereinek szkennelésével a teljes épület 3D pontfelhője jön létre (12. ábra). [28]



12. ábra Homlokzati szkennelés Vlaanderenstraat, Gent [28]

A szkennelt épületről 3D modell készíthető, amely felhasználható új tervekkel való kombináláshoz, BIM (Building Information Modeling) vagy 3D vizualizációhoz vagy szimulációhoz.

A 3D lézerszkennelést kritikus bontási helyzetekben is alkalmazzák. A pontfelhő ilyenkor világos áttekintést ad az épületről, ami lehetővé teszi a bontás gondos megtervezését. [28]

Infrastruktúra

Az építőmérnöki területen az olyan összetett szerkezeteket, mint a hidak és alagutak, a 3D lézerszkenneléssel nagyon részletesen mérik.

Az infrastrukturális projekteknél a 3D lézerszkennelést digitális terepmodellek (DTM) és topográfiai mérések készítésére is használják.

Hosszabb pályák, például utak vagy vasutak felméréséhez a mobil szkennelést gyakrabban használják, mint a statikus szkennelést (13. ábra). A mobil szkennelés, más néven mobil térképezés során az adatokat egy járművön elhelyezett szkennerek és kamerák segítségével nyerik. [28]

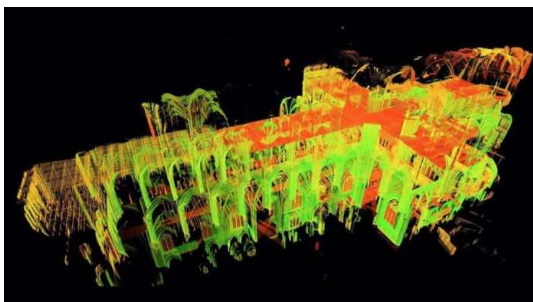


13. ábra Vasúti hid szerkezete [20]

Örökség

A műemlékek, szobrok, régészeti maradványok stb. geometriai adatainak nyilvántartása nagyban hozzájárul az örökség megőrzéséhez. A 3D lézerszkennelés nagyon alkalmas technika az örökség dokumentálására a nagy hatótávolság, a nagy pontosság és a magas részletesség miatt, amellyel rövid idő alatt adatok nyerhetők (14. ábra).

A szkennelési adatok stabilitásvizsgálatokhoz, vizualizációkhoz, animációkhoz, tervek, metszetek és 3D modellek készítéséhez is felhasználhatók. Gazdag információforrást jelentenek a régészeti kutatások számára. [28]



14. ábra Notre Dame belső terének modellje [21]

Iparágak

A petrokémiai ipar már évek óta alkalmazza a 3D lézerszkennelést, de más ipari ágazatok is egyre inkább felismerik ennek a technológiának a hasznosságát az ipari üzemek irányításában.

A letapogatási adatok alapján készülnek az építési tervek és a 3D modellek. A csővezeték-berendezések esetében az ezekben a modellekben szereplő objektumok az izometriákra és a karbantartásra vonatkozó adatokkal vannak összekapcsolva, amelyek felhasználhatók az üzem irányításához (15. ábra).

A szkennelési adatok információt nyújtanak a jelenlegi helyzetről, de betekintést nyújtanak a bővítési lehetőségekbe is. A meglévő üzem 3D pontfelhőjének és a hozzáadandó új elemek

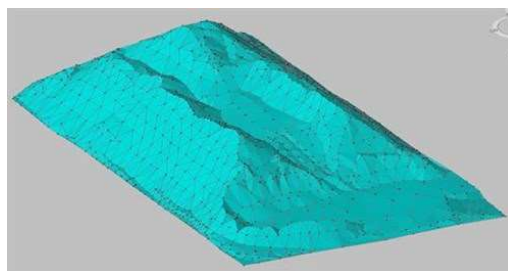
tervének kombinálásával az ütközésfelismerés segítségével azonosítani lehet, hogy hol fordulnak elő konfliktusok. Az ütközéseket a tervezési fázisban észlelik, így a végső megvalósítás zökkenőmentesebbé válik. [28]



15. ábra Ipari terület pontfelhője [22]

Térfogatszámítás

A készletek térfogatának meghatározásához a 3D lézerszkennelés a hagyományos felmérés megbízható és biztonságosabb alternatívájaként ismert (16. ábra). A nagyobb területek térfogatát néha drónnal mérik. [28]



16. ábra Térfogatszámítás [28]

Rendőrségi munka

Baleset vagy bűncselekmény esetén a rendőrség 3D lézerszkennelést használ a helyszín teljes felmérésére és virtuális megjelenítésére. A 3D lézerszkennelés gyors mérési mód, ami a baleset vagy bűncselekmény helyszínének gyorsabb feltárását eredményezi (17. ábra).

Egy baleset felmérése és rekonstruálása sok időt vesz igénybe, ami néha hosszú sorban állást okoz. A 3D lézerszkenneléssel minden gyorsan mérhető, így a forgalom rövidebb ideig akadályozva van.

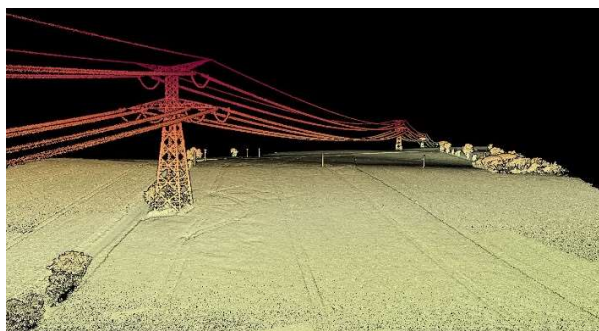
A lézerszkennelés nem szelektív, az eleve nem fontosnak tűnő tárgyak helyét is megméri. Ez a módszer nagyon alkalmas a kriminalisztika számára, mivel a környezetet 360°-ban méri anélkül, hogy bármit is megmozgatnának vagy megérintenének. A letapogatási adatok később felhasználhatók a helyszín tanulmányozásához, szimulációkhoz és képzéshez. [28]



17. ábra Pontfelhő egy baleset helyszínéről [23]

Energia infrastruktúra

Egy teljes villanyoszlopot néhány álláspontról 3D lézerszkenneléssel meg lehet mérni. A szkennelésen a kábelek, szigetelők stb. is láthatóak (18. ábra). A 3D pontfelhő ezután az alkatrészek ellenőrzésére, valamint a növényzet és az épületek közelségének ellenőrzésére szolgál a távvezetékhez képest. [28]



18. ábra Villanyoszlopok és kábelek pontfelhője [24]

4.7 Lézerszkennер működése

Számos ipari 3D szkennер a lézeres háromszögelés elvén működik. A lézersugarat ismert szögben vetítik a mérendő célpontra; a lézertől ismert távolságban lévő kamera a vetített képet nézi.

4.8 Háromszögelés működése

A háromszögelés két pont közötti távolság meghatározására szolgáló módszer. A módszer két vagy több, különböző pozíciókból végzett mérés felhasználásával működik. A két pont közötti szög és a két pozíció közötti távolság mérésével trigonometria segítségével kiszámítható a két pont közötti távolság. A trigonometria megbízható, mert az idők során kipróbált és bevált matematikai elveken és képleteken alapul. Olyan alkalmazásokban játszik fontos szerepet, mint a földmérés, a navigáció és a csillagászat, ahol a tervezéshez és elemzéshez pontos számításokra van szükség. Számos 3D szkennер a háromszögelés elveire épül a tárgy és a szkennер közötti geometriai kapcsolat vizsgálatához.

A 3D szkennerek általában lézerfényt használnak a tárgyak felületének pontos mérése és modellezése céljából.

A modern kereskedelmi lézerek többnyire félvezető diódákkal készülnek, amelyek pontosabb és hatékonyabb lézergyártást tesznek lehetővé. Amikor a diódákon (p-n átmenet) áram folyik át, az gerjeszti az atomokat, és fotonok kibocsátására készíti őket, így jön létre a lézerfény. A lézerek a nagy távolságokra is eljutó, erősen koncentrált és párhuzamos (kollimált) fénysugaraknak köszönhetően tökéletesen alkalmasak az apró pontok precizitásának és pontosságának elérésére. Ezenkívül a vörös lézerek kivételes láthatósága biztonsági szempontból is rendkívül kívánatos. E két kulcsfontosságú tulajdonságnak köszönhetően a lézertechnológiát széles körben alkalmazzák a mérés technikában és a gyártásban.

A lézeres háromszögelési szkennerek a háromszögelés elvei alapján háromdimenziós adatokat állítanak elő, a lézer a megvilágítás forrása. A lézeres háromszögeléses szkennelés aktív érzékelési technológia, mivel rendelkezik egy energiakibocsátó komponenssel. Méréseket végezhet egyetlen ponton vagy egy pásztázási síkban.

A szkennerek egy lézer legyezőnyaláb által létrehozott referenciasíkokban gyűjti az adatpontokat. Minden adatpont valahol ezen a síkon lesz. Ha a lézer az A ponton egy tárgyat talál el, akkor azt a szkennerek képérzékelője az A' ponton látja. Ha a lézer a B pozícióban talál egy tárgyat, akkor az a B' pozícióban lesz látható. Mivel a lézer és a képérzékelő közötti távolság ismert, a szkennerek kiszámíthatja a tárgy távolságát azáltal, hogy megvizsgálja, hol látja a szenzor a visszavert lézert.

A lézer szkennereknél fontos megjegyezni, hogy a távolság növekedésével a lézerszkennerek pontossága csökkenhet, mivel a lézerpontok szóródása nő. Ebben az esetben a felbontás kritikus tényezővé válik, melynek megválasztásakor figyelembe kell venni a tárgy jellemzőit és a kívánt részletességet. Általában nagyobb távolságok esetén magasabb felbontást választunk, hogy megfelelő pontosságot és részletességet érjünk el. Túl nagy felbontás esetében viszont a mérés ideje és a fájl mérete jelentősen megnő. A lézerszkennerek használatakor tehát fontos a megfelelő felbontás és távolság kiegyensúlyozása annak érdekében, hogy a legjobb eredményeket érhesük el a digitális modellezés során. [15]

4.9 Pontfelhők

A pontfelhők háromdimenziós koordinátarendszerben lévő adatpontok halmazai. Minden egyes pont egy adott térbeli pozíciót képvisel, és további attribútumokat, például szint, intenzitást vagy egyéb tulajdonságokat is tartalmazhat. A pontfelhőket jellemzően különböző technológiák, például LiDAR (fényérzékelés és távolságmérés), fotogrammetria vagy 3D szkennelés segítségével hozzák létre.

Felhasználási területek:

1. 3D modellezés és vizualizáció

A pontfelhők szolgálnak alapul a valós világ béli tárgyak vagy környezetek részletes 3D modelljeinek létrehozásához. A pontfelhőadatok feldolgozásával és elemzésével a szoftveralkalmazások pontos ábrázolásokat hozhatnak létre épületekről, tájakról, régészeti helyszínekről és sok másról.

2. Felmérés és térképezés

A pontfelhőket széles körben használják a földmérési és térképészeti alkalmazásokban. Pontos méréseket biztosítanak a terep, az építmények és más jellemzőkről, így értékesnek bizonyulnak a várostervezés, a területfejlesztés, az infrastruktúra-tervezés és a környezeti megfigyelés szempontjából.

3. Építés és épületinformációs modellezés (BIM)

Az építési projektekben a pontfelhőket a meglévő szerkezetek építési állapotának rögzítésére használják. A pontfelhőadatoknak az épületinformációs modellezési (BIM) munkafolyamatokba történő integrálásával az építészek, mérnökök és vállalkozók pontosan

felmérhetik a meglévő állapotokat, megtervezhetik a felújításokat és koordinálhatják az építési tevékenységeket.

4. Visszafordított tervezés

A pontfelhőket a fordított mérnöki folyamatokban használják a fizikai tárgyak digitális modelljeinek újbóli létrehozására. Ez különösen hasznos az olyan iparágakban, mint a gyártás, az autóiipari tervezés és a repülőgépipar, ahol meglévő alkatrészeket vagy termékeket kell elemezni és lemásolni.

5. Oszlopkezelés és ellenőrzés

A pontfelhők eszközgazdálkodási és ellenőrzési célokra használhatók. Az energiaágazatban például a drónokkal vagy lézerszkennelő eszközökkel gyűjtött pontfelhőadatok felhasználhatók az infrastruktúra, például az elektromos vezetékek, csővezetékek és ipari létesítmények állapotának felmérésére.

6. Vizuális valóság (VR) és kiterjesztett valóság (AR)

A pontfelhők szolgálnak a magával ragadó VR- és AR-élmények alapjául. A pontfelhőadatok valós idejű megjelenítésével a felhasználók virtuális környezeteket fedezhetnek fel és interakcióba léphetnek velük, vagy digitális információkat helyezhetnek a fizikai világra.

Összességében a pontfelhők sokoldalú adatrepresentációk, amelyek számos iparágban alkalmazhatók, az építészettől és a mérnöki tudományoktól kezdve a földmérésen át a gyártásig és azon túl. Pontos térbeli elemzést, vizualizálást és döntéshozatalt tesznek lehetővé a legkülönbözőbb területeken.

4.10 Homlokzat rajz

A homlokzati rajzok olyan építészeti rajzok, amelyek egy épület vagy építmény külsejét ábrázolják. Részletesen ábrázolják az épület homlokzatát, beleértve annak magasságát, az építészeti elemeket, az anyagokat, sőt néha még a textúrákat és a színeket is. Ezek a rajzok több okból is nélkülözhetetlenek az építési projekt tervezési és kivitelezési fázisában:

1. Vizualizáció

A homlokzati rajzok segítenek az építészeknek, az ügyfeleknek és más érdekelt feleknek vizualizálni, hogyan fog kinézni az épület kívülről, ha elkészül. Ez a vizualizáció kulcsfontosságú a tervezési döntések meghozatalához és annak biztosításához, hogy a végső megjelenés megfeleljen a kívánt esztétikai céloknak.

2. Kommunikáció

Az építészek, mérnökök, vállalkozók és ügyfelek közötti kommunikáció eszközeként szolgálnak. A homlokzat részletes illusztrációjával a projektben részt vevők mindegyike megértheti a tervezési szándékot és a követelményeket.

3. Koordináció

A homlokzati rajzok segítenek az épülettervezés különböző szempontjainak, például az ablakok, ajtók, burkolóanyagok és építészeti jellemzők elhelyezésének összehangolásában. Biztosítják, hogy a különböző épületelemek megfelelően illeszkedjenek egymáshoz, és a tervezett módon működjenek.

4. Szabályozási megfelelés

Számos joghatóságban a helyi építési szabályzatok és előírások speciális követelményeket írnak elő az épületek homlokzatára vonatkozóan, például a visszalépések, a maximális magasság és az anyagok tekintetében. A homlokzati rajzok segítenek az építésznek abban, hogy terveik megfeleljenek ezeknek az előírásoknak.

5. Építési útmutató

Az építési fázisban a homlokzati rajzok útmutatóként szolgálnak az építők és a kivitelezők számára. Részletes információkat nyújtanak a homlokzat pontos megépítéséről, beleértve a méreteket, az anyagspecifikációkat és az összeszerelési részleteket.

Összességében a homlokzati rajzok az építészeti tervezési és építési folyamat alapvető eszközei, amelyek segítenek a tervezési koncepciókat kézzelfogható, vizuálisan vonzó külsővé alakítani, miközben biztosítják a szerkezeti integritást és a jogszabályi megfelelést.

4.11 A szkennerteljesítményét befolyásoló paraméterek (hibaforrások)

A strukturált fényszkennerekkel végzett méréseket számos paraméter befolyásolja.

Ezek a paraméterek a szkennerek hibáinak forrásai. A kereskedelmi forgalomban kapható műszerekben a hibaforrások közül sok hibaforrást jobb minőségű hardverrel, optikával, merev rögzítéssel és hardver/szoftver szűrőkkel kezelnek. [16]

A hibaforrások

- Műszerhiba
- A szkennelt tárgy formájával és jellegével kapcsolatos hibák
- A környezet által okozott hibák
- Mérési módszer hibák

4.11.1 Műszerhiba

A műszeres hiba szisztematikus és véletlenszerű hibára osztható. A véletlenszerű hibák elsősorban a távolság- és szögmérések pontosságát befolyásolják a terjedési idő elvét alkalmazó műszerek esetében. A szisztematikus hibákat az idő- vagy hőmérsékletmérő rendszer nemlinearitása okozhatja, ami erősen befolyásolhatja az elektronikus távolságméréseket. [18]

Lézersugár szélessége

A szkennerek egyik fontos tulajdonsága, amely erősen befolyásolja mind a pontfelhő felbontását, mind a pozíciós bizonytalanságot, a lézersugár szélessége. A lézersugár szélessége a megtett távolsággal egyszerre nő. [18]

Többutas terjedés

A visszaverődési hatáson kívül vannak olyan helyzetek, amikor számos anyag rendelkezik fényáteresztő bevonattal, amely lehetővé teszi, hogy a lézersugár megtörjön és visszaverődjön az anyag felületén. [18]

Szögpontosság

A legtöbb lézerszkennerek kis forgó eszközt (tükör, prizma) használnak a lézerimpulzus bizonyos irányba történő eltérítésére. Bármilyen kis szögeltérés függ a műszer és a vizsgált objektum távolságától, és ez jelentős hibákat okozhat a pontok koordinátaiban.

A szögpontosság a forgó eszköz pozicionálási hibáitól és a szögmérési eszköz pontosságától függ. [18]

Tengelyhibák

Kollimációs tengely: a pásztázó tükör középpontja és a pásztázott objektumon eltérített lézerfolt középpontja határozza meg.

Vízszintes tengely (másodlagos tengely): a terelőtükrök forgástengelye határozza meg.

A gyártók által megadott tűréshatárok miatt ezek a tengelyek nem tökéletesen igazodnak egymáshoz, és - következésképpen - lehetőség van a klasszikus mérőműszerekből ismert hibák - a kollimációs hiba és a másodlagos tengely hibájának nem horizontális volta - hatásával való találkozásra. [18]

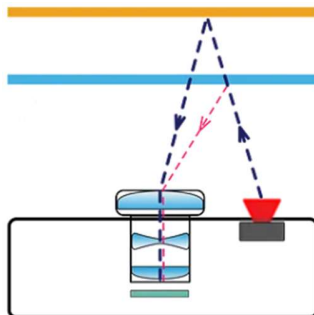
4.11.2 A szkennelt tárgy formájával és jellegével kapcsolatos hibák

Felületi reflexió

Az objektum felszínének visszaverőképessége jelentősen befolyásolja a visszavert jel erősségét. Például, sötét felületek esetén a visszatérő jel intenzitása jelentősen gyengébb lehet, míg fehér felületek esetén erőteljesebb visszaverődés figyelhető meg. [18]

Többutas visszaverődés

A többutas visszaverődés egy olyan jelenség, amikor a fény többszörös tükröződései vagy szóródásai következtében több különböző úton jut el ugyanabba a pontba (10. ábra). [18]



10. ábra Többutas visszaverődés [17]

4.11.3 A környezet által okozott hibák

Hőmérséklet

Az alkatrészek belső felmelegedése és a külső hatások (pl. napfény) miatt a szkennerek belsejében a hőmérséklet magasabb lehet, mint a környező légkör hőmérséklete. A külső sugárzások befolyásolhatják az állvány vagy a szkennerek egyik oldalát, ami - tágulással - könnyen a szkennelési adatok torzulásához vezethet.

A berendezés hőmérséklete mellett fontos zavaró tényezőt jelent a letapogatott felület hőmérséklete. Forró tárgy pásztázásakor a pásztázott környezet visszavert sugárzása csökkenti a jel-zaj arányt és a távolságmérések alapértelmezett pontosságát. [18]

Atmoszféra

A lézerszkennerek akkor működnek megfelelően, ha olyan környezetben használják őket, ahol a mért távolságok mentén állandó a hőmérséklet. A mért távolságok pontosságát befolyásolja, ha a mérési területen hőmérséklet, pára vagy a légnyomás megváltozik. [18]

Zavaró sugárzások

Amikor a lézerszkennerek nagyon közeli frekvenciasávokban működnek, a távolságmérés pontosságát külső sugárzás (pl. napfény) befolyásolhatja. Ebben az esetben a vételi egységben speciális optikai interferenciaszűrők alkalmazhatók, amelyek lehetővé teszik, hogy a vevő a megfelelő frekvenciákat elérje. [18]

Mozgásokból eredő torzulások

A legtöbb lézerszkennerek másodpercenként 2000-500000 pont közötti pásztázási sebességgel rendelkezik. Bár ez a sebesség nagyon magas, a nagy felbontású szkennelés 20-30 percig is eltarthat. Ez alatt az idő alatt a szkennerek érzékeny a rezgésre, amely a mozgásokból eredő kis elmozdulásokat, úgynevezett torzulásokat okozhat.

Mivel az egyes pontokat különböző időpontban veszik fel, a szkennelt tárgy vagy a szkennerek bármilyen mozgása torzítja az összegyűjtött adatokat. Emiatt a szkennert stabil platformra kell szerelni, hogy a rezgésjelenségek minimálisra csökkenjenek. [18]

4.11.4 Mérési módszer hibák

Ezek a hibák a választott mérési módszernek vagy a felhasználó tapasztalatának köszönhetőek, aki nem túlságosan járatos ebben a technológiában. Ha például a felhasználó a lézerszkennerek pontpont pontosságánál nagyobbra állítja a rácssűrűséget (felbontást), akkor a jelvételi folyamat a maximális frekvencia megduplázott sávszélességénél magasabb frekvenciájú lesz (a pásztázás túlmintavételezett lesz). Ebben az esetben felesleges zajok keletkeznek, és a szkennelési folyamat ideje jelentősen megnő.

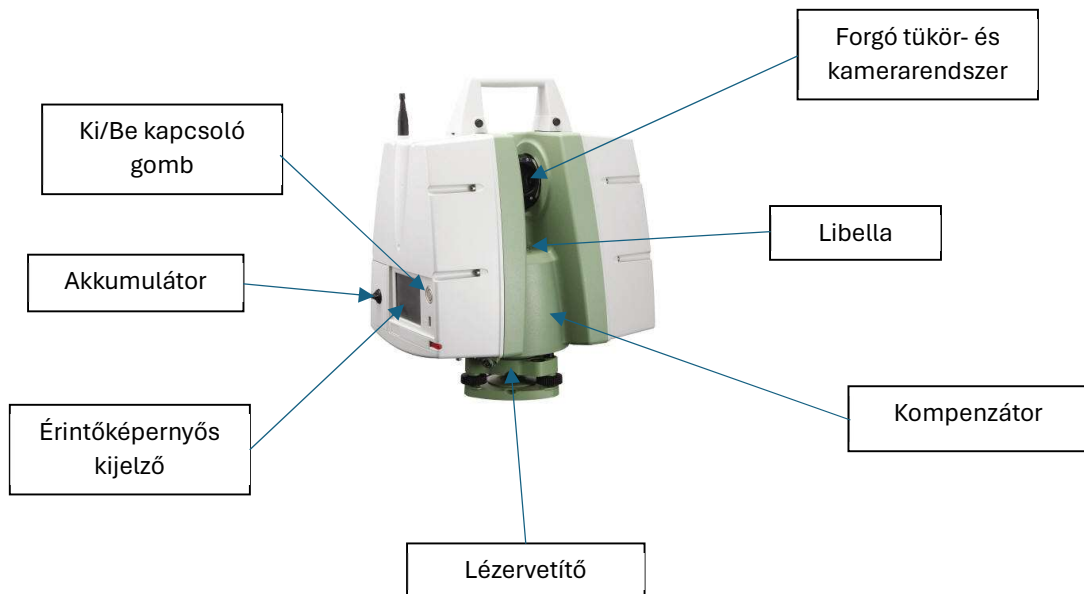
Egy másik lehetséges hibaforrás lehet a földi lézerszkennerek rossz megválasztása. Ha nem megfelelő szkennert választunk olyan maximális távolsággal, amely közel van a vizsgált objektum maximális távolságához, az pontatlan szkennelési termékhez vezet.

Más lehetséges hibák a regisztrációs folyamat során fordulhatnak elő. Ezek a hibák a több pontfelhő regisztrálásához használt módszertől függenek. [18]

5. JÁRÁSBÍRÓSÁG FELMÉRÉSE

A munkám során felmértem a Székesfehérvári Járásbíróság D-Ny-i oldalát a Leica C10 nevű lézerszkennerral.

5.1 Műszer felépítése



11. ábra Leica ScanStation C10 felépítése [19]

5.2 A műszer specifikációi és működése

- 532 nm hullámhosszú zöld lézerfényt használ
- Mérési hatótávolsága 300 méter

- Maximális szkennelési sebessége 50000 pont/másodperc
- 50 méterig a lézer átmérője 4.5 mm
- Látószöge horizontálisan 360°, vertikálisan pedig 270°
- 80 Gb belső tárhely
- A kibocsátott lézerefény "Class 2-es", ami azt jelenti, hogy nem veszélyes az emberi szemre [27]

A lézerszkennnerben egy forgótükörrendszer található, amin keresztül kibocsátódik a lézersugár. Ez a szkennelendő felületről visszaverődik, ennek az idejét a műszer pontosan megméri, és abból kiszámolja a távolságot a felületig.

5.3 A mérés folyamata

Kétnapos mérésem során felmértem a Székesfehérvári Járásbíróság D-Ny-i utcafronti oldalát.

Sokáig kerestem a városban a megfelelő épületet a felmérésre, végül azért döntöttem e mellett, mert az épület homlokzata több érdekes részből tevődik össze, ami fontos lehet a lézerszkennelés szempontjából. Az épületen egyszerű, nagy mintázatok találhatók, amelyek kis felbontással is jól mérhetőek, és akadnak olyan részek is, melyeket apró, motívumos ábrák díszítenek. Találhatók még az épület falának középső részén fejszobrok is, amelyek újabb kihívásokat jelentettek, mivel ezeket több állásból is meg kellett mérni.

A helyszín kiválasztásakor előnyt jelentett, hogy az épülettel szemben, az út túloldalán egy széles járda található, amely megfelelő volt az álláspontok létesítésére.

A méréshez kevés eszköz volt szükséges. A mérési helyszínre csak a műszert és egy műszerlábat kellett kivinni. A felszerelést egy személygépkocsival vittük ki, ami könnyedén befért a csomagtartóba. Mérésemet egyik osztálytársam segítette megkönnyítve az álláspontok közti pakolást és a felszerelések áttelepítését.

A terepszemle során végig sétáltam az utcát, előre felmérve, hogy nagyjából hány álláspontra lesz szükség és mely tereptárgyak lehetnek a mérésben zavaróak.

Egyik legfontosabb dolog, amire figyelni kellett a mérés közben, hogy minden álláspont között legyen kellő átfedés. Ez azért fontos, mert a későbbiekben a feldolgozásnál ezek az átfedések elengedhetetlenek lesznek, hogy a pontfelhőket össze tudjam kapcsolni.

A mérés első lépésében kiválasztottam a kezdő álláspontot és felállítottam a műszert.

Műszer felállítása után bekapcsoltam, a főmenüben a „*management*” fül alatt létrehoztam egy új projektet, amit „*VZ1101*” -nek neveztem el. A mérés során keletkezett fájlok ebbe a mappába kerültek. Ezeket a fájlokat a műszer álláspontokként rendezi el, ami a feldolgozás közben segít a mérések azonosításában.

A projekt létrehozása és kiválasztása után, fontos lépés volt a műszer állótengelyének függőlegeshez igazítása. Ehhez segítségül szolgált a műszer digitális libellája, ami a kijelzőn jelent meg. Itt arra törekedtem, hogy a pontosság 10” alatti legyen.

A műszer két féle mérésre képes, egy minden mérésére és egy olyanra, ahol csak egy kijelölt ablaknyit mér meg. Ezt nevezik úgy, hogy „*field of view*”, én ezt az opciót használtam.

Ennek a mérési programnak az az első lépése, hogy megmutatjuk a műszernek, hogy mettől meddig szeretnénk egy állásponttól mérni. Az én esetemben ez az épület sarkától kezdődve 10-15 méterig tartott. Ez úgy történt, hogy a műszert a sarok fele kell fordítani, majd a kijelzőn megjelenik két kis ablak. Egyik a mérés bal határját jelenti a másik pedig a jobbát. Mivel én a mérésemet balról jobbra végeztem, ezért az épület sarkát a mérés bal határának kellett beállítsam. Ezt egy lakat szimbólum meg nyomásával lehet elérni, majd átforgattam a

műszert a jobb oldalra, és az ide tartozó lakatot nyomtam meg. Ezzel lerögzítettem, hogy melyik tartományt szeretném szkennelni.

Fontos lépés a felbontás meghatározása, ami a pontfelhőm pontsűrűségét fogja meghatározni. Úgy határoztam meg, hogy milyen felbontást válasszak, hogy megkerestem mérési területemben a műszertől legtávolabb pontot az épületen. Erre a pontra végeztem egy távolság mérést. Ennek segítségével beállítottam a műszerben, hogy a kapott távolságon legyen 1 cm az élesség. Ezt azért választottam, mert így az épület többi pontja garantáltan ugyanilyen, vagy kisebb távolságra lesz. Ez biztosítja a mérésem 1 cm-res pontosságát.

Miután mindent beállítottam elindítottam a mérést. Egy mérés átlagosan 10 percet vesz igénybe.

Felmerült egy lassító tényező, mégpedig az, hogy az épület ezen sarka előtt található egy közlekedési lámpa. Ez azt jelentette, hogy ha a lámpa pirosra váltott a járművek pont a műszer és az épület között álltak meg, és ezzel bezavarták a mérést. Erre azt volt a megoldás, hogy minden alkalommal amikor a lámpa pirosra váltott, meg kellett állítsam a mérést. Így általában a mérés ideje 20 percre növekedett. Egy-egy szekció mérése után, még ugyanazon az állásponton felmértem a részletesebb mérést igénylő részeket (pl. motívum, fejszobor). Erre egy olyan mérési programot használtam, ami a műszerbe épített kamera segítségével engedi, hogy kijelöljem a szkennelni kívánt területet. Ezt hívják „*scan window*” -nak. Kijelöltem például egy fejszobrot és beállítottam a felbontást. Itt más értéket választottam, mivel szerettem volna elvégezni a részletek rögzítését. Így 1mm-res felbontást állítottam be. Ez jelentősen megnövelte a mérés idejét, de mivel ezek a részletes mérések kis területre vonatkoztak, 10 perc alatt végeztem. Itt szerencsére már nem okozott hátrányt a forgalom, mivel ezeket a méréseket az autók vonala felett végeztem.

Mérésem első napját félbe kellett szakítanom, mert elkezdett esni az eső és a lézer a vízcseppekről verődött vissza, nem az épületről, ezzel elrontva a mérést.

Miután a műszer végigért a lézeres méréssel, mozaikszerűen végig fényképezte a mért területet a beépített kamerával. Ennek köszönhetően a végeredmény-pontfelhő színes lett. Nem csak térbeli értékei lesznek a pontoknak, hanem szín-értékei is.

Miután a képek elkészültek, kikapcsoltam a műszert, majd felállítottam a következő állásponton, és a leírás szerint elvégeztem a szkennelést. A legfontosabb dolog, amire figyeltem, hogy a szkennelés határai beállításánál meglegyen legalább a 40%-os átfedés a mérések között.

6. FELDOLGOZÁS

A következőkben bemutatom a feldolgozáshoz használt szoftvereket és lépéseket.

6.1 Importálás

Az adatokat a Lecia ScanStation C10-ről egy USB adattároló segítségével másoltam át saját könyvtáramba.

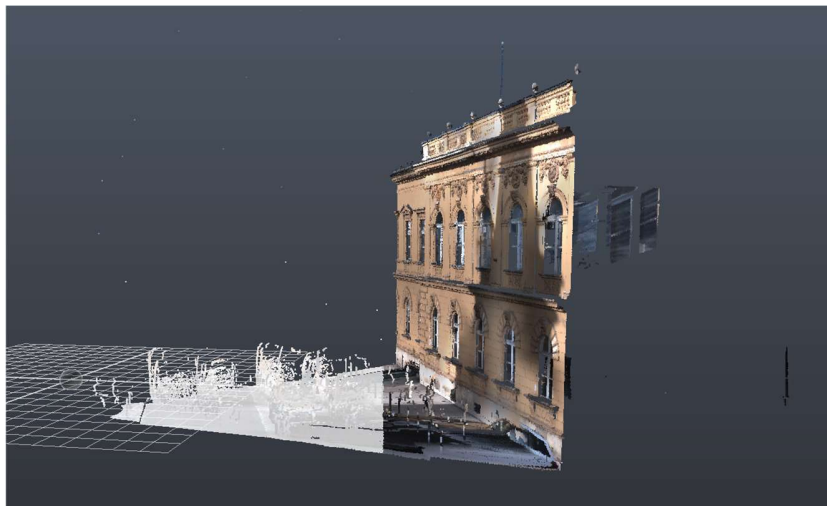
6.2 Pontfelhő tisztítás

A pontfelhőkről a fölös pontok eltávolítását az AutoDesk ReCap nevű programjával végeztem el.

Az Autodesk Recap egy olyan szoftver, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy könnyedén digitalizálják a valós világot 3D-s térképek, modellek és pontfelhők létrehozásával, amelyeket különféle tervezési és területfejlesztési projektekhez lehet használni. Ez egy fizetős szoftver, de van lehetőség diákoknak az ingyenes használatra.

Az álláspontokat egyesével behívtam és már a korábban említett megálló, elhaladó autók és emberek által keletkezett felesleges pontokat kijelöltem és töröltem (19. ábra).

Végeredményül kaptam épület homlokzatának részeit, de ezek egymáshoz semmilyen módon nem kapcsolódtak.



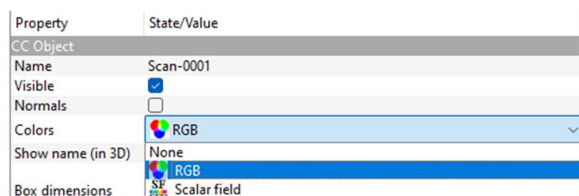
19. ábra Pontfelhő tisztítása

6.3 Pontfelhő összefűzés

A pontfelhők összefűzését eredetileg a ReCap-en belül szerettem volna elvégezni, de olyan problémába ütköztem, hogy az álláspontok létre hozott szkennelési részletek fájl neve ugyan az lett automatikusan. A program nem engedett ugyan olyan nevű pontfelhőket egy munkába behívni, a fájlok neveit pedig nem tudtam megváltoztatni. Így egy másik programot kerestem az összefűzés elvégzésére.

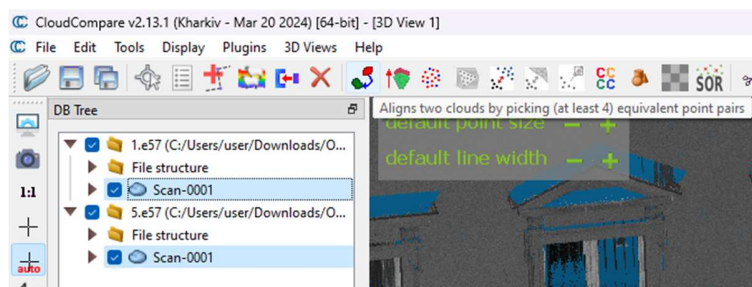
Választásom a CloudCompare nevű programra esett. Ez egy ingyenes program, amiről régebbiről tapasztalattal is rendelkezttem. A CloudCompare egy nyitott forráskódú program, amit 3D pontfelhő feldolgozásra lehet használni. A szoftver eszközei segítségével könnyen lehetőség van a pontfelhők szegmentálására, összeecsatolására és felületmodellek létrehozására.

Behívtam a programba az első és második álláspont mérését. Itt nem rendelte a pontokhoz automatikusan a színeket, ezért nekem kellett. Ezt a pontfelhő tulajdonságaiban tudtam beállítani (27. ábra).



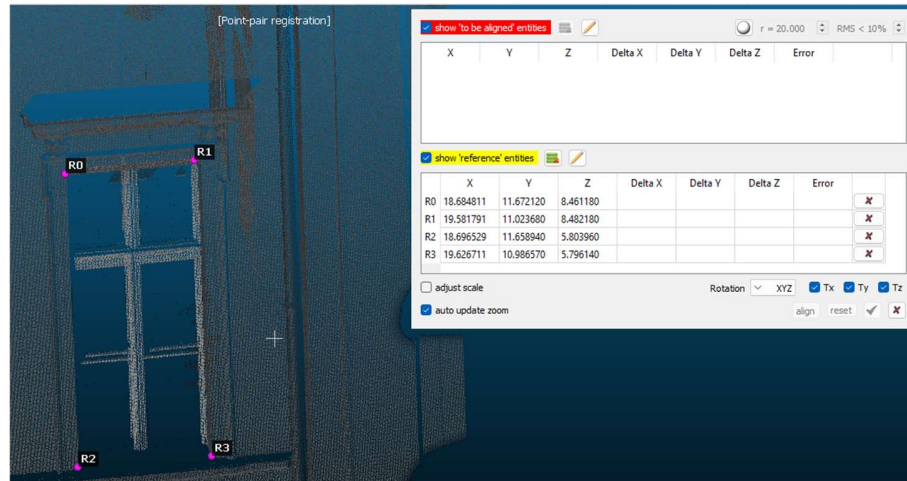
27. ábra RGB hozzárendelés

Az összefűzéshez a már korábban általam említett álláspontok közötti átfedésre van szükség. Én a mindkét mérésben látható ugyan azt ablakot használtam közös pontnak. A közös részek beazonosítása után a menüben kijelöltem az összefűzendő állományokat, majd az *"Align two clouds by picking equivalent point pairs"* (Két felhő összevonása pontpárok kiválasztásával) funkciót alkalmaztam (20. ábra).



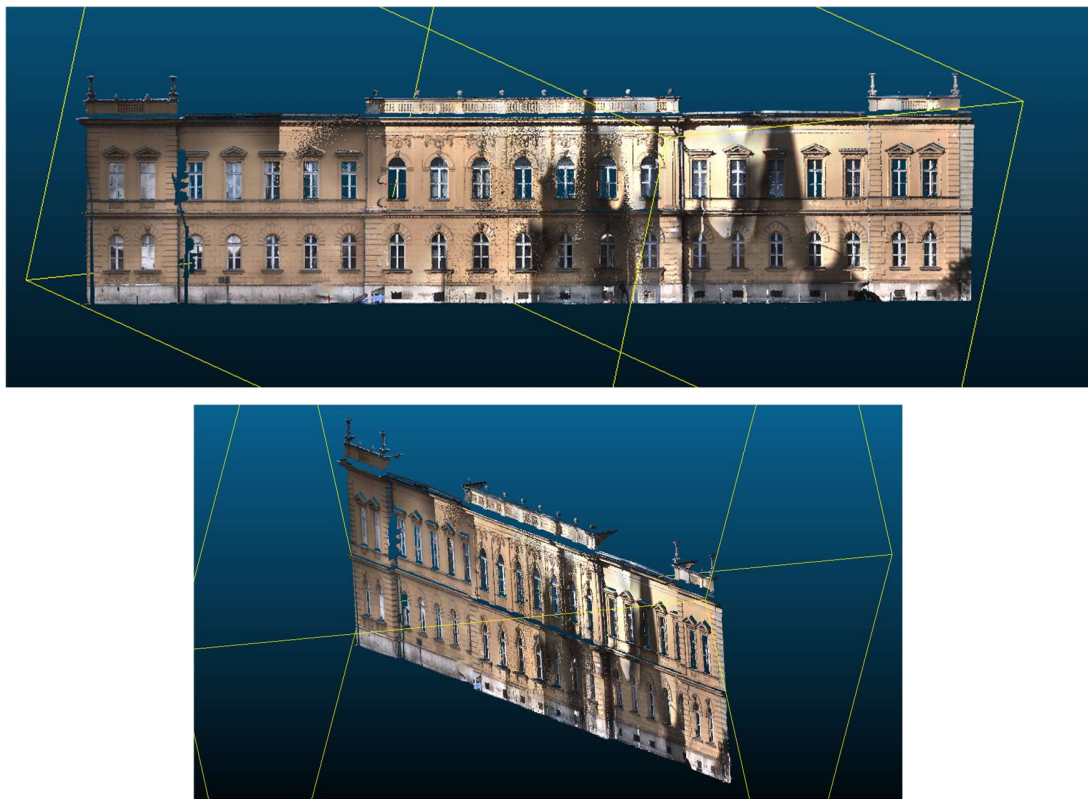
20. ábra Pontfelhők kiválasztása összefűzéshez

Ehhez a funkcióhoz 4 közös pontra volt szükségem, amely mind a két mérésben láthatók. Először kijelöltem a közös ablak sarkainak jól meghatározható 4 sarkát. Ezt a program R0-tól R3-ig elnevezte, majd a másik pontfelhőn ugyan ebben a sorrendben ki kellett választanom a korrelációs pontokat (21. ábra). Ezek után a program ebből össze tudja fűzni a két pontfelhőt. A lépés sikerességét úgy tudtam ellenőrizni, ha oldalról néztem meg a pontfelhőt akkor az egy egyenes falat mutatott, úgy, mint a valóságban, tehát nem volt benne csavarodás.



21. ábra Pontok párosítása

Ezt a folyamatot addig ismételttem amíg végig nem értem az egész épületen. Végeredményül kaptam az épület egész oldalát egy összefüggő pontfelhőben (22. ábra).



22. ábra Összefűzött modell

6.4 Homlokzatrajz elkészítése

A homlokzat rajz megrajzolásához az Autodesk AutoCad nevű programot választottam. Az AutoCAD egy professzionális szintű CAD (Computer-Aided Design) szoftver, amelyet elsősorban építészek, mérnökök és más tervezők használnak 2D és 3D tervezési feladatokhoz. Az AutoCAD lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy a felhasználói felületen keresztül rajzoljanak, szerkesszenek és dokumentáljanak terveket az építészet, a gépészet, az elektromos tervezés és más területeken. A program használata licenzhez kötött, de elérhető diákok számára ingyenes verzió is.

Munkámat úgy kezdetem, hogy a már megtisztított és összefűzött pontfelhőt behívtam a programba az *”Attach”* nevű funkcióval. Ehhez szükséges volt, hogy az állományom kiterjesztése .rcp (az Autodesk termékek ezt használják pontfelhő kezelésre) legyen. Ezt a CloudCompare-ben folytatott munkák után állítottam be.

A behívott pontfelhő nem illeszkedett a program XYZ tengelyekhez, ezért a *”rotate”* funkcióval azokhoz kellett illesztenem. A homlokzat rajzolás megkezdése előtt a rétegrendezőben létre hoztam a szükséges rétegeket, amikben a rajzolást fogom végezni. A rétegrendező használata nagy segítséget jelentett, mivel itt igény szerint ki tudtam kapcsolni vagy a pontfelhő vagy a rajz rétegét, ami nagyban segítette az átláthatóságot és a munka ellenőrzését.

A rajzolást az ablakokkal és a körülöttük található díszítő elemekkel kezdtem (23. ábra). Ehhez a *”Polyline”* parancsot használtam, ami a szegmensök összefüggő sorozata, amely egy objektumot hoz létre. A rajzoláshoz elengedhetetlen funkció volt a *”3D object snapping”*, ami azt jelenti, hogy rajzolás közben a vonal végpontjai a pontfelhő pontjaira illeszkednek.



23. ábra Ablakok megrajzolása

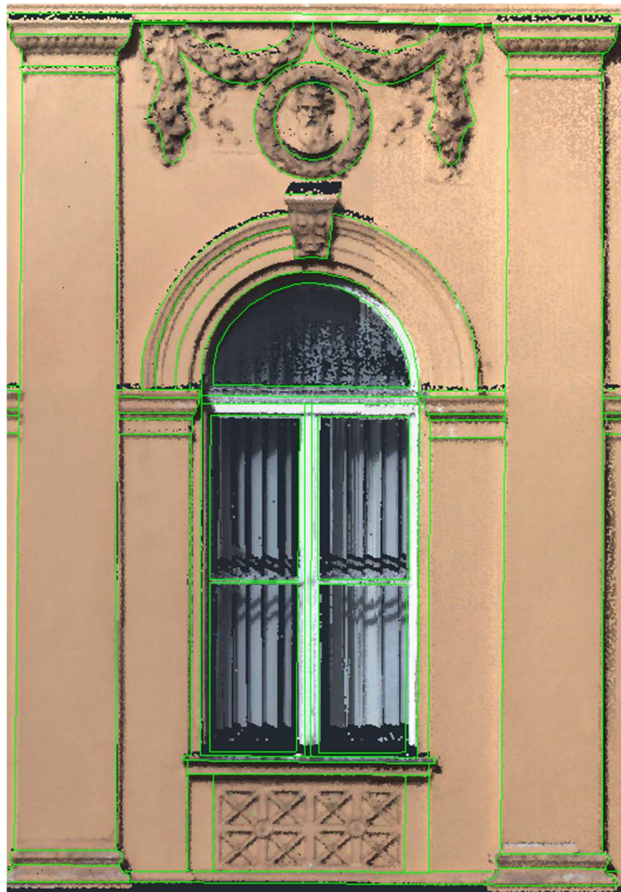
Az épület alsó felét egy nagy kőmintás borítás fedte, amelyet részletesen rögzítettem a rajzomon (24. ábra). Ez a kőmintás borítás esztétikailag fontos része az épület homlokzatának. A rajzolás során arra törekedtem, hogy a kőmintázat valósághűen legyen ábrázolva, figyelembe véve az egyedi formáit és méretét. Ennek eredményeként az épület alsó része megfelelően reprezentálta a valóságban létező borítást, és hozzájárult az épület egészének megjelenéséhez.



24. ábra Minta rajzolás

Az épület homlokzatán elhelyezkedő díszoszlopok és különböző díszmintázatok részletes rajzolásakor a "circle" funkciót is alkalmaztam a "Polyline" mellett (25. ábra). Ezek a

díszoszlopok és mintázatok nemcsak esztétikailag voltak fontosak az épület megjelenésében, hanem stílusban és kialakításban is jelentős szerepet játszottak az építészeti összhatásban. A "circle" funkció használata lehetővé tette számomra, hogy pontosan és precízen rajzoljam meg a kör alakú részeket. Ennek eredményeként az oszlopok és díszmintázatok részletei valósághűen lettek ábrázolva a homlokzat rajzán.



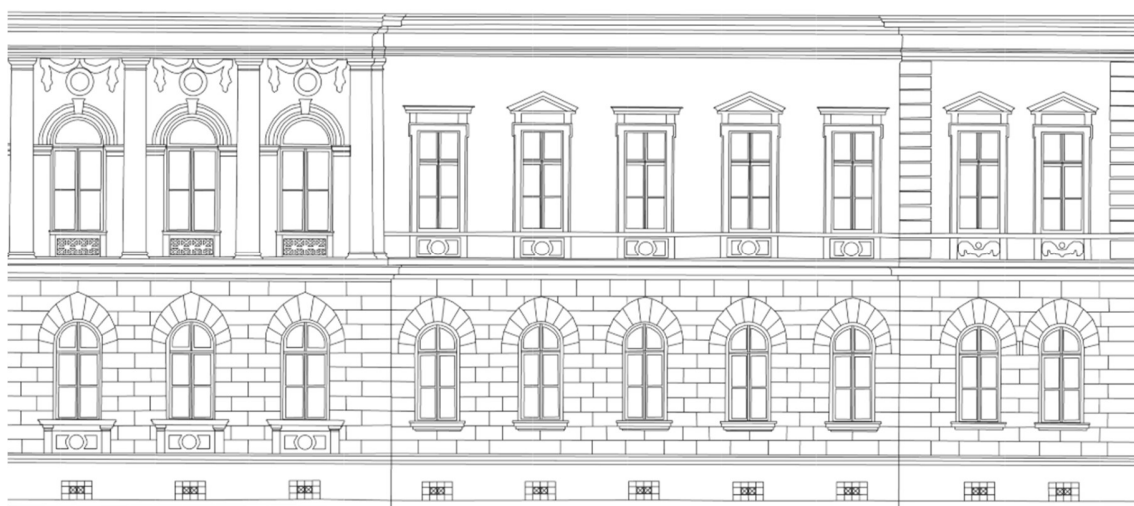
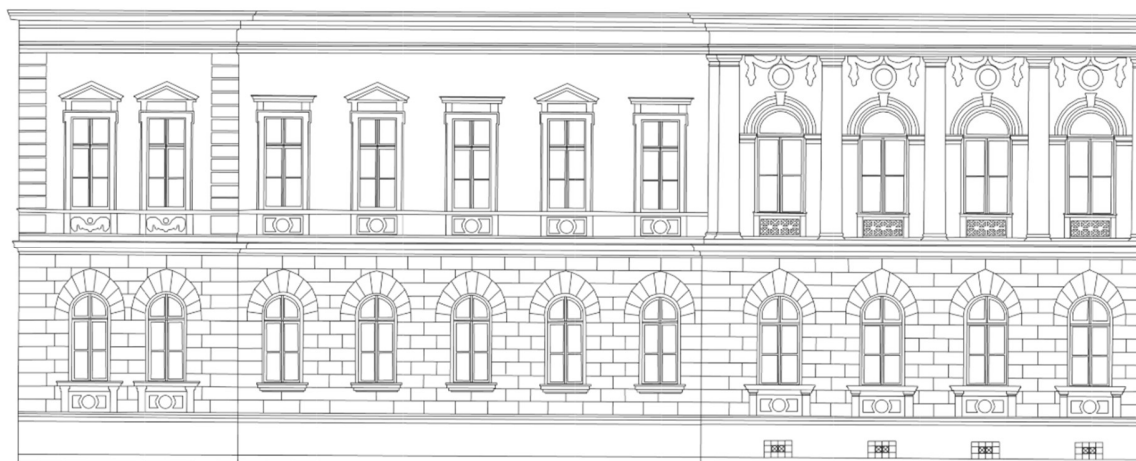
25. ábra Oszlopok és díszmintázat

Az épület főbb vonalait, töréseit és körvonalát végső lépésként gondosan megrajoltam, hogy azok pontosan tükrözzék az épület alakját és szerkezetét. Ebben a fázisban nagy hangsúlyt

fektettem a precíz megjelenítésére, hogy az épület arculata és formája teljes mértékben kifejezze tervezésének szándékait és stílusát.

A rajzolási folyamat befejeztével kikapcsoltam a pontfelhő rétegét, hogy csak a rajz látható legyen. Ezt követően a "*Layout1*" nevű ablakban előkészítettem a rajzot nyomtatáshoz. PDF formátumot választottam, A3-as méretben, és gondoskodtam arról, hogy a legnagyobb vektor- és raszterfelbontást állítsam be, hogy a nyomtatáskor a részletek ne veszítsenek élességükből vagy minőségükből. Ez azért fontos, hogy a nyomtatott verzió hűen tükrözze a digitális rajzban megjelenített részleteket és ábrázolást (26. ábra).

Egy másik program, amivel ezt a lépést el lehetett volna végezni az az Archicad. Ez egy magyar fejlesztésű CAD szoftver. Az Archicad abban különbözik az AutoCad-tól, hogy ez egy kifejezetten építészek számára fejlesztett szoftver. Naprakész épületinformációs modellezése (BIM) eszközöket kínál. A feldolgozás tervezésénél ez a szoftver által nyújtott lehetőségeket is megvizsgáltam, de az AutoCad számomra kedvezőbb modellezési eszközöket nyújtott.



26. ábra Kész homlokzat rajz

7. ÖSSZEGZÉS

A szakdolgozatomban részletesen bemutattam a lézerszkennerek fejlődését, mindennapi felhasználási módjait, valamint az egyik lehetséges alkalmazásukat gyakorlatban. Első lépésként áttekintettem a lézer történetét, kiemelve annak működési elvét és széles körű felhasználását. Ezután részletesen bemutattam a lézerszkennerek fejlődését, kitérve azok általános felépítésére, technológiai evolúciójára, valamint az előnyeire és hátrányára. Végül részleteztem egy konkrét példát arra, hogyan alkalmazhatók a lézerszkennerek a gyakorlatban, bemutatva az egyik alkalmazás lépéseit és eredményeit. Ezáltal a szakdolgozatom teljes körű áttekintést nyújtott a lézerszkennerek technológiájáról és alkalmazásairól, valamint a legújabb fejlesztésekről és lehetőségekről.

A terepi mérés során számos kihívással kellett szembenéznem, beleértve az időjárás, a gyalogos és gépjárműforgalom okozta akadályokat is. Például többször is meg kellett állítanom a mérést, mert a buszok vagy nagyobb járművek a kereszteződés közelsége miatt, pont a műszer és az épület között álltak meg. Ezek ellenére azonban arra a következtetésre jutottam, hogy a lézerszkennerek használata praktikus és pontos módszer a homlokzat rajzának elkészítésére. Minden mérés körülbelül 10-20 percet vett igénybe, így az adott épület teljes oldalának megmérése körülbelül 2 órát vett igénybe.

A pontfelhők letisztítása könnyedén ment. A nehézségek a pontfelhő összefűzésnél kezdődtek. Korábban már említettem, hogy az álláspontoknál keletkezett fájlok automatikusan ugyan azt a nevet kapták ("scan1"), ami miatt nem tudtam egyszerre behívni a ReCap nevű programba. Ennek következtében egy másik programot kellett keresnem a pontfelhők összefűzésére.

A homlokzat rajzolása volt az a folyamat, amelyben a legtöbb időt töltöttem el. Ennek oka az volt, hogy az épület oldala viszonylag hosszú volt, és rendkívül sok részlet, ablak, motívum és díszítőelemem található rajta. Mindegyik elem részletes megrajzolása nagyon időigényes munka volt, hiszen fontos volt minden apró részletet precízen rögzíteni és

ábrázolni a végeredmény minősége érdekében. A napokig tartó munkafolyamat során fokozott figyelmet kellett fordítanom a részletek pontos rögzítésére, arányaira és stílusára, hogy az épület homlokzata a lehető legvalóságghűbben jelenjen meg a rajzon.

Az elkészült homlokzat rajzból kiderült, hogy az épületen található elemek nem mindenhol követik a "szabályos" mintát. Voltak olyan vízszintes elemek, amelyekről kiderült, hogy nem teljesen vízszintesek. Ez a felfedezés rámutatott arra, hogy még a látszólag "egyszerű" homlokzatok is rejthetnek magukban olyan részleteket, amelyekre különös figyelmet kell fordítani a tervezés és rajzolás során.

Szakdolgozatom készítése során arra a megállapításra jutottam, hogy a lézerszkenneres technológia egyre inkább előtérbe kerül a földmérés területén. A technológia folyamatos fejlődésével a lézerszkennereknek egyre jobban növelik a pontfelhők kiértékelésének pontosságát és gyorsaságát, valamint automatizálni ezt a folyamatot, amennyire csak lehetséges. Ez az előrelépés lehetővé teszi, hogy a lézerszkennerek által nyújtott adatok még hatékonyabban és pontosabban használhatók legyenek, ezáltal segítve a szakembereket a jobb minőségű és gyorsabb munkavégzésben.

8. SUMMARY

In my essay I have described in detail the development of laser scanners, their everyday uses and one of their possible applications in practice. First, I have reviewed the history of the laser, highlighting its working principle and its wide range of applications. I then described in detail the evolution of laser scanners, covering their general design, technological evolution, advantages and disadvantages. Finally, I detailed a concrete example of how laser scanners can be used in practice, showing the steps and results of one application. In this way, my thesis has provided a complete overview of the technology and applications of laser scanners, as well as the latest developments and opportunities.

During the field survey, I had to face many challenges, including obstacles caused by weather, pedestrian and vehicular traffic. For example, I had to stop the measurement several times because buses or larger vehicles stopped right between the instrument and the building due to the proximity of the intersection. However, despite these problems, I concluded that the use of laser scanners is a practical and accurate way of drawing the facade. Each measurement took about 10-20 minutes, so it took about 2 hours to measure the entire face of the building.

Clearing the point clouds was a straightforward process. The difficulties started with the point cloud stitching. I mentioned earlier that the files generated from the positions were automatically given the same name ("*scan1*"), which is why I could not call them into the program called ReCap at the same time. Therefore, I had to look for another program to merge the point clouds.

Drawing the facade was the process in which I spent most of my time. The reason for this was that the side of the building was relatively long and had an enormous amount of detail, windows, motifs and decorative elements. Drawing each of these elements in detail was a very time-consuming job, as it was important to capture and depict every detail accurately to ensure the quality of the result. Throughout the days of work, I had to pay close attention to

the exact detailing, proportions and style of the details to ensure that the building's facade was as realistic as possible.

The finished facade drawing showed that the elements on the building did not all follow a 'regular' pattern. There were some horizontal elements that turned out not to be perfectly horizontal. This discovery showed that even seemingly 'simple' facades can contain details that need special attention in the design and drawing.

While writing my thesis, I have concluded that laser scanning technology is becoming increasingly prominent in the field of surveying. As technology continues to advance, laser scanners are becoming more and more accurate and fast at evaluating point clouds and automating this process as much as possible. This advancement will allow the data provided by laser scanners to be used more efficiently and accurately, helping professionals to work with better quality and faster.

9. IRODALOMJEGYZÉK

[1] Wikipédia, World's first laser out of case:

https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:World%27s_first_laser_out_of_case.jpg (2024.03.10)

[2] Sunayana, Innovative amazing science:

<https://innovativeamazingscience.in/my-blog/laser-light/> (2024.03.10)

[3] Taylor, Nick: Laser: The Inventor (2000):

<https://en.wikipedia.org/wiki/Laser> (2024.03.11)

[4] Vedantu, Laser:

<https://www.vedantu.com/physics/laser> (2024.03.11)

[5] Visible Light:

<https://www.electricity-magnetism.org/visible-light/#:~:text=Wavelengths%20and%20Colors%3A%20Visible%20light,yellow%2C%20orange%2C%20and%20red> (2024.03.16)

[6] Mi a lézer (2017):

<https://jelolestechnologia.hu/termek/lezergravirozok/mi-a-lezer/> (2024.03.16)

[7] Prof. Narendra Kumar Pandey, Properties of Laser Beams:

<https://www.lkouniv.ac.in/site/writereaddata/siteContent/202006151236284892NK-Properties%20of%20Laser%20Beam.pdf> (2024.03.16)

[8] Leica ScanStation C10:

https://geoprema.com/products/used-equipment/used_laser_scanners/leica-scanstation-c10/ (2024.03.17)

[9] Faro Focus 3D X 330 Laser Scanner:

<https://www.indiamart.com/proddetail/faro-focus-3d-x-330-laser-scanner-13486918833.html> (2024.03.18)

[10] Timeline of 3D Laser Scanners:

<https://scantech-international.com/blog/timeline-of-3d-laser-scanners#:~:text=Laser%20scanning%20originated%20in%20the,wasn't%20however%20very%20accurate> (2024.03.18)

[11] ADVANTAGES OF 3D LASER SCANNING (2018):

<https://1sth.co.uk/advantages-3d-laser-scanning/> (2024.03.18)

[12] Mike Zivanovic, Motionless vs Mobile Scanning:

<https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/Motionless-vs-Mobile-Scanning> (2024.03.19)

[13] 5 reasons why it's time to invest in mobile mapping (2020):

<https://www.navvis.com/blog/5-reasons-why-its-time-to-invest-in-mobile-mapping> (2024.03.19)

[14] 3D laser scanning explained:

<https://www.gp-radar.com/article/3d-laser-scanning-explained#:~:text=3D%20laser%20scanning%20is%20a,producing%20a%20point%20cloud%20file> (2024.03.20)

[15] Terry Hermary, Principles of Laser Triangulation:

<https://hermary.com/learning/principles-of-laser-triangulation/> (2024.03.22)

[16] Prem Rachakonda, Bala Muralikrishnan, Daniel Sawyer, Sources of Errors in Structured Light 3D scanners:

https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=927473 (2024.03.25)

[17] Refael Whyte, Multipath Interference in Indirect Time-of-Flight Depth Sensors (2021):

<https://medium.com/chronoptics-time-of-flight/multipath-interference-in-indirect-time-of-flight-depth-sensors-7f59e5fed122> (2024.03.25)

[18] Constantin Coșarcă, Analysis of error sources in Terrestrial Laser Scanning:

http://revcad.uab.ro/upload/18_144_Paper11_RevCAD09_2009.pdf (2024.03.25)

[19] Leica ScanStation C10:

<https://www.ltrade.com.ua/product/leica-scanstation-c10/> (2024.03.26)

[20] Leica, Reality capture software:

<https://leica-geosystems.com/industries/pure-surveying/get-inspired-to-grow-your-business/laser-scanning/civil-infrastructure> (2024.03.27)

[21] Laser scans of Notre Dame could help reconstruct historic building (2019):

<https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction-news/bim-news/laser-scans-notre-dame/55672/> (2024.03.28)

[22] 3D Laser Scanning Point Cloud Services:

<https://rogue3d.com/lidar-point-cloud-modeling-services/> (2024.03.28)

[23] Chad McFadden, Laser scanning provides important benefits for investigators (2017):

<https://www.crime-scene-investigator.net/laser-scanning-provides-important-benefits-for-investigators.html> (2024.03.28)

[24] View a power line point cloud from the longer range drone LiDAR MDLIDAR1000LR (2022):

<https://www.microdrones.com/en/content/view-a-power-line-point-cloud-from-the-longer-range-drone-lidar-mdlidar1000lr/> (2024.03.29)

[25] FARO Focus Laser Scanners:

<https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners> (2024.05.07)

[25] Yusuf Arayici, Pedro Gamito, Modelling 3D Scanned Data to Visualise and Analyse the Built Environment for Regeneration (2006):

https://www.researchgate.net/publication/28578901_Modelling_3D_Scanned_Data_to_Visualise_and_Analyse_the_Built_Environment_for_Regeneration (2024.05.09)

[26] Newport: Types of Lasers:

<https://www.newport.com/n/laser-types> (2024.05.09)

[27] Leica ScanStation C10:

https://www.laserscanning-europe.com/sites/default/files/Leica/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf (2024.05.10.)

[28] 3D laser scanner applications:

<http://www.3d-laserscanning.be/en/applications.aspx> (2024.03.26)