



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR

Veszélyes csomópontok vizsgálata földi lézerszkenneres mérések felhasználásával

DOLGOZAT

XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia

Konzulens:
Prof. DR. KOREN CSABA
egyetemi tanár

Készítette:
MESTER MÁRTON
infrastruktúra-építőmérnöki MSc
I. évfolyam

Győr
2012

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. Közúti biztonság	4
2. Szintbeni közúti csomópontok	6
2.1. Szintbeni csomópontok geometriája.....	6
2.2. Szintbeni csomópontok tervezési elemei.....	8
2.3. Látómezők.....	9
2.3.1. Megállási látómező.....	9
2.3.2. Elindulási látómező	10
2.3.3. Közeledési látómező.....	10
3. Lézerszkennerek és működésük alapjai	12
3.1. Lézertechnika alkalmazása a mérésekben	13
3.2. Lézerszkennerek fajtái és felhasználásuk	16
4. Kiválasztott csomópont vizsgálata.....	20
4.1. Helyszíni mérés	20
4.2. Mérési eredmények feldolgozása	22
4.3. A láthatósági viszonyok elemzése.....	25
4.4. Értékelés.....	28
5. Összegzés	30
6. Irodalomjegyzék.....	32

Bevezetés

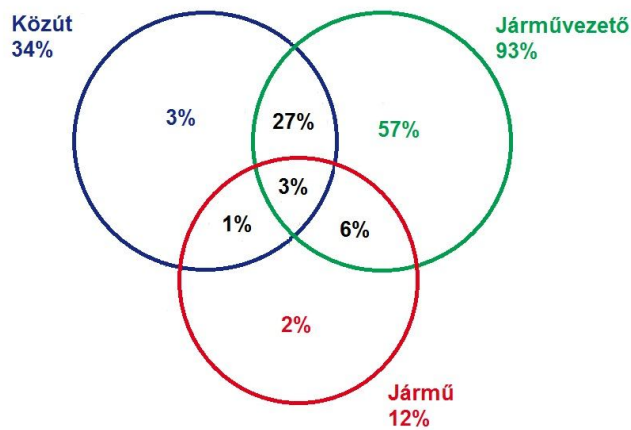
Magyarországon 2011-ben közel 16 ezer személysérüléses közúti közlekedési baleset történt [KSH 2012]. Bár ez a szám az utóbbi években csökkenő tendenciát mutat, még mindig van hova fejlődni a közúti biztonság területén. Ennek egyik lehetősége, hogy igyekszünk biztonságosabbá tenni mind az újonnan épülő, mind a már meglévő útjainkat. A meglévő utak esetében ez az adott pályaszakasznak és a közvetlen környezetének vizsgálatát, a hibás illetve hiányos elemek feltárását, és a megoldási javaslatok kidolgozását, megvalósítását foglalja magában.

Dolgozatomban egy kiválasztott közúti csomópontban vizsgálom a lehetséges veszélyforrások közül a látási viszonyokat, illetve az erre hatást gyakoroló tényezőket. Ilyenek lehetnek például a növényzet, a jelző táblák, a beépítések takaró hatása, valamint a kereszteződésbe behaladó gépjármű holttere. Ezen tényezők közül a legtöbb vizsgálata csak a megvalósulást követően általában már csak szemrevételezéssel történik, fényképekkel dokumentálva. Ez a módszer azonban nem ad számszerű adatokat, ezzel ellentétben a lézerszkenneres felmérés, amit magam is elvégzek, igen. A földi lézerszkenneres technológia viszonylag fiatal a többi felmérési módszerhez képest, alkalmazása még nem túl elterjedt, de sok lehetőség rejlik benne. Előnye, hogy több millió térbeli pontot képes felvenni néhány perc alatt, így a fényképnek szinte megfelelő információtartalmú digitális állományokat nyerhetünk, amelyek mégis koordinátás pontokból épülnek fel. Ezt kihasználva számszerűen vizsgálhatunk különféle térbeli problémákat.

Az elméleti áttekintés után a technológia témában való alkalmazhatóságát, és lehetőségeit mutatom be.

1. Közúti biztonság

A XIX.-XX. században a különböző gépi erővel hajtott járművek megjelenésével az emberek számára kitárult a világ, és képesek lettek arra, hogy nagy távolságokat tegyenek meg a korábbinál rövidebb idő alatt. A gyártás technológia fejlődésével lehetővé vált az is, hogy ne csak a kiváltságos, gazdag emberek juthassanak autóhoz. Magyarországon 1960-hoz képest 10 év alatt tízszeresére, 50 év alatt százszorosára nőtt a személygépkocsi száma, 2010-re ez közel 3 millió személyautót jelentett [KSH 2010]. A forgalom növekedésével párhuzamosan a járművek teljesítménye is nőtt, ami kihat a bekövetkező balesetek súlyosságára. Ezekből jól látható, hogy fokozottan szem előtt kell tartanunk a közúti biztonság kérdését. Ahhoz, hogy csökkentsük a balesetek számát, fel kell derítenünk a kiváltó okokat. Ezeket a szakirodalom a bennük szerepet játszó tényezők alapján három egymást metsző halmazba sorolja, melyek a jármű, az ember és az út. Érdekes azt is megnézni, hogy milyen a megoszlás az egyes halmazok között. Baleseti mélyelemzés alapján [Holló 2007] ez úgy adódott, hogy a járművezető 93%-ban, az út 34%-ban, a jármű pedig 12%-ban játszott valamilyen mértékben szerepet a balesetek kialakulásában.



1. ábra Közúti balesetek okai rendszerszemléletű közelítés alapján [Holló 2007]

Bár kizárólag a közút állapotából, csak az esetek 3%-a eredt, a járművezető és az út együttes szerepvállalása 30% volt. Ebbe a jelentősnek mondható 30 százalékból beavatkozhatunk emberi és műszaki oldalról is. Az kijelenthető, hogy ha műszaki oldalról megfelelően avatkozunk be, akkor sokkal hatékonyabbak lehetünk, mivel ez a tényező sokkal általánosabban és könnyebben befolyásolható, mint az emberi oldal. Persze mindig

gazdaságosabb a különböző szabályok vagy törvények bevezetése, de ha elvégezzük a kellő vizsgálatokat, akkor választhatunk olyan megoldást, mely költséghatékonyságban elfogadható.

Arra a kérdésre, hogy hol és milyen típusú beavatkozások jöhetnek szóba, választ adhat, ha a baleseteket természetük szerint is csoportosítjuk. Az elmúlt 10 év adatait nézve [KSH 2011] megállapítható, hogy a balesetek felét haladó járművek ütközése okozta. Ilyen esemény legvalószínűbben csomópontokban következhet be, mikor a járművek keresztezik egymás útját. Célszerű tehát különösen odafigyelni a csomópontok tervezésekor, illetve érdemes a meglévők kialakítását, környezetét és forgalomszabályozását felülvizsgálni.

2. Szintbeni közúti csomópontok

A régi időkben úgy szólt a mondás, hogy „*minden út Rómába vezet*”. Ma már ez nincs így, a közutak behálózták a kontinensek nagy részét, emiatt elkerülhetetlen, hogy keresztezzék egymást. Ha az utak mind külön szintben, kitérő helyzetben találkoznának, nem lennének ebből konfliktusok, viszont így nem lehetne megoldani a kapcsolódásukat, az egyikről a másikra való áttérést. Abban az esetben, ha fel- és lehajtókat építünk, már generálunk lehetséges konfliktushelyzeteket, ráadásul ezek kiépítése sokkal nagyobb költség- és helyigényt jelent, ami legtöbbször megoldhatatlan. Nincs más lehetőség, mint hogy biztonságos szintbeni csomópontokat alakítunk ki.

2.1. Szintbeni csomópontok geometriája

Mivel az utak tervezését sok tényező befolyásolja, a találkozásaik is különbözőek lehetnek, vagyis nincs egy mindenhova alkalmazható csomópont típus. Az Útügyi Műszaki Előírás ide vonatkozó fejezete hét geometriai alapformát különböztet meg [ÚME 2004].

I. geometriai alapforma: Két irányú, irányonként egy forgalmi sávós út találkozása. Esetleg külön balra felálló sávval.

II. geometriai alapforma: Elsőbbséggel rendelkező osztott pályás, négy vagy több átmenő sávval rendelkező út és egy alárendelt út találkozása.

III. geometriai alapforma: Két osztott pályás út találkozása két irányban négy vagy több átmenő sávval.

IV. geometriai alapforma: Ebben az esetben a kereszteződésen az átmenő sávokat külön szintben, műtárgyon vezetik át, és egy összekötő ág kapcsolja össze a kanyarodó forgalmi áramlatokat. Az összekötő ág becsatlakozásainál általában külön sáv szükséges a balra forduló járművek számára.

V. geometriai alapforma: Az alárendelt irányok becsatlakozása a fölérendelt út két oldalán egymáshoz képest kistávolságú.

VI. geometriai alapforma: Két osztott pályás vagy egy osztott pályás és egy két sávós út kereszteződésének kialakítása. Az átmenő sávokat szét kell húzni, középső sziget alakítható ki.

VII. geometriai alapforma: Három, négy vagy több csomóponti ág egyirányú forgalmú körpályába csatlakozik.

Geometria alapforma		Becsatlakozások	Keresztezések
I	Kétsávos utak becsatlakozása vagy kereszteződése		
II	Osztott pályás vagy irányonként kétsávos utak becsatlakozása vagy kereszteződése kétsávos úttal, általában jelzőlámpával		
III	Két osztott pályás vagy kétsávos út becsatlakozása vagy kereszteződése jelzőlámpával		
IV	Kétsávos vagy osztott pályás utak részben külön szintű kereszteződése		
V	Kétsávos utak „eltolt” kereszteződése		
VI	Széthúzott becsatlakozás vagy kereszteződés, legalább az egyik út osztott pályás		
VII	Körforgalmú csomópont		

2. ábra Szintbeni csomópontok geometriai alapformái [ÚME 2004]

Ezek az alapesetekeken kívül még léteznek, nem kis számban, egyéb kialakítások is. Lehetnek többlettággal rendelkező csomópontok, ahol az előzőektől eltérően kereszteződéskor négynél, becsatlakozáskor háromnál több a csomóponti ágak száma,

emellett összevont csomópontok is, ahol az utak olyan kis távolságra találkoznak az elsőbbséggel rendelkező útvonalhoz, hogy a szokásos forgalmi körülmények között egymás forgalomlefolysását kölcsönösen befolyásolják. Lakott területen, főleg sűrűn beépített belvárosi részen, gyakran nem szükséges vagy nem lehetséges valamennyi csomóponti kapcsolat biztosítása, ilyenek fordulnak elő egyirányú forgalmú úthálózaton például.

2.2. Szintbeni csomópontok tervezési elemei

Csomópontok tervezésekor az előzőekben ismertetett geometriai alapformákból érdemes kiindulni. Ezek azonban csak iránymutatók, mivel minden csomópont egyedi eset, a végső, leoptimálisabb kialakításra sok tényező van hatással, melyeket érdemes figyelembe venni. Az első ilyen a csatlakozó utak vonalvezetése. A biztonság szempontjából az első és legfontosabb lépés, hogy az út használója időben felismerje a csomópont közeledtét, felmérhesse a kialakítását, például a csatlakozó ágak számát, a forgalomirányítás módját, az esetleges elsőbbségi viszonyokat, a továbbhaladásának irányát, illetve az aktuális forgalmat. Ezt a vonalvezetésnek biztosítania kell. Beépített területen kívül az előzési látótávolság meglétére törekedni kell, de mind beépített, mind beépítetlen területen a megállási látótávolság biztosítása minimális követelmény. Vízszintes vonalvezetés szempontjából ügyelni kell arra, hogy a csatlakozó utak által bezárt szög a $60-90^\circ$ -ot közelítse, ha az első 3 geometriai alapforma közül választunk, mivel ellenkező esetben a balra kanyarodók látási viszonyai nem megfelelőek, ha nem lehetséges, akkor érdemes eltolt kereszteződést kialakítani. Magasságilag a legkedvezőbb eset, ha a csomópont homorú lekerekítésben található, a legrosszabb pedig, ha mindkét út domború lekerekítésbe kerül. Az változó magassági viszonyok magukkal hozzák a vízvezetés kérdését is. Csomópontokban fontos, hogy minél rövidebb úton el tudjanak folyni a felszíni vizek. A tervezéskor figyelembe kell venni, hogy, ami az egyik ágnak hosszesés az a másiknál keresztesést jelent. Ezt úgy kell megoldani, hogy az elsőbbséggel rendelkező út esése változatlan maradjon, és az alárendelt út igazodjon hozzá. A vonalvezetés mellett a várható forgalomhoz igazodva figyelembe kell venni a kialakítandó forgalmi sávok számát. Beépített területeken kívül a biztonság és a szolgáltatási szint növelése miatt, beépített területen a teljesítőképesség fokozására gyakran többsávok kialakítása szükséges. Tervezéskor gondolnunk kell a személygépjárművektől eltérő úthasználókra is, különösen a gyalogosokra és kerékpárosokra, illetve a biztonságos átvezetésükre.

Nagyon fontos szempont, hogy a csomópont biztonságos legyen minden használója számára. Ez nem lehetséges, ha nem megfelelőek a látási viszonyok. Csomópontok tervezésekor ellenőrizni kell, hogy a tervezett kialakítás mellett biztosítottak lesznek-e a kellő látómezők. Már meglévő csomópontok esetében pedig, problémás helyeken ellenőriznünk kell, hogy az esetlegesen előforduló balesetekben nem ez játszhatta-e a döntő szerepet. Ehhez meg kell határoznunk, hogy hol milyen látómezőt kell megkövetelni.

2.3. Látómezők

Látómező alatt a csomópontban és attól meghatározott távolságban elhelyezkedő olyan sávot értünk, amely 0,80 méter és 2,50 méter között mentes a rálátást akadályozó létesítményektől, parkoló járművektől illetve növényzettől. Szinte kikerülhetetlen, hogy világítástartó oszlopok, jelzőberendezések ne kerüljenek bele ebbe a sávba. Ezeket tehát úgy kell elhelyezni, hogy az elsőbbségadásra kényszerülő jármű vezetőjét ne akadályozzák meg az elsőbbséggel rendelkező jármű észlelésében. Térbeli látási viszonyok vizsgálatánál a személygépkocsi vezető szemmagasságát 1,00 méterre kell felvenni. A tervezés fázisában ritkán előkerülő szempont, de a látómezőhöz tartozó járművezető szinte mindig zárt járművet vezet, és így csak az ablakon át tud kilátni, vagyis a zavartalan látását, saját járműve gátolja. Ezen kívül a nézőpontjához képest a jármű eleje típustól függően még előrébb nyúlik, tehát mind a jármű holtterét, mind az átlagos jármű vezetőhöz viszonyított elhelyezkedését érdemes figyelembe venni. A gyalogjárda szélességének, illetve a beépítés utcafronthoz való közelségének szabályozásával ez javítható.

A különböző forgalmi viszonyokhoz eltérő látómezők tartozhatnak, a három legfontosabbat részletesen kiemelem.

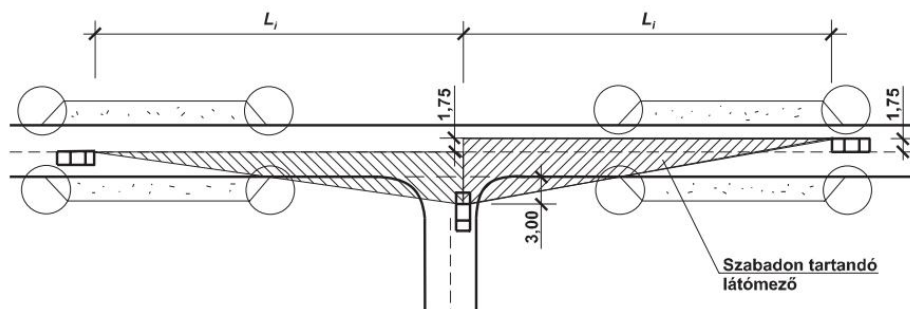
2.3.1. Megállási látómező

A megállási látótávolság az a távolság, amelyre a járművezetőnek zavartalanul el kell látnia, ahhoz, hogy még biztonságosan meg tudja állítani a járművét. Vagyis az az út, amit az adott útszakaszon, adott sebesség mellett a jármű megtesz a vezető reakcióideje és az állóra fékezés időtartama alatt. Értéke táblázatból kikereshető, sík úton 30 és 100 km/h óra között 25 és 170 méter szélsőértékek között változik. A megállási látótávolság megléte mellett biztosított, hogy a csomópont felé közeledő személy felismeri az

elsőbbségi viszonyokat. Ha ez a szempont nem biztosítható, akkor az elsőbbségadási kötelezettséget elő kell jelezni. Ívben a csomópont kezdetét, és a vezető nézőpontját összekötő húr, és a körív közötti részt szabadon kell tartani.

2.3.2. Elindulási látómező

Elindulási látótávolság az a távolság, amellyel az elsőbbséggel rendelkező útpálya szélétől 3,00 méter távolságra várakozó járművezetőnek rendelkeznie kell ahhoz, hogy az elsőbbséggel rendelkező jármű zavarása nélkül, álló helyzetből, rá tudjon hajtani az elsőbbséggel rendelkező útra. Az elsőbbséggel rendelkező jármű főpontját balról az úttengelybe, jobbról attól 1,75 méterrel távolabb kell felvenni. Ha a főúttal párhuzamosan kerékpáros átvezetés van, akkor 3 méter helyett 4,50-5,00 méter távolságba kell az elsőbbségre kötelezett járművet felvenni. A látóháromszög hosszabbik befogója táblázatból kikereshető különböző sebességekre. Beépített területen gyakran nehezen tarthatóak ezek a nagy távolságok, a különböző kiegészítő intézkedések mellett, ajánlott legalább az elsőbbséggel rendelkező jármű részére a megállási látótávolság biztosítása.



3. ábra Az elindulási látómező [ÚME 2004]

Érdemes megjegyezni, hogy a 3. ábrán a járművezető, az autó közepébe és szinte a szélvédőhöz van felvéve a 3 méteres távolságra. Ez esetben a befogó hosszába figyelembe vehetjük-e az oldalsó ablakon kinézve látható hosszt is, vagy csak a szélvédőn át láthatót. Előbbi esetben a gépkocsi első holttere gátolja a folytonos szabad látómezőt.

2.3.3. Közeledési látómező

Közeledési látótávolságon azt a távolságot értjük, amellyel az alárendelt útvonalon a csomópontához közeledő járműnek a fölérendelt útvonal szélétől számított 10 méteres távolságból rendelkezni kell ahhoz, hogy adott esetben a fölérendelt útra megállás nélkül

rá tudjon hajtani. Értelmezése teljesen hasonló az elindulási látótávolságéhoz, de a befogó hossza értelemszerűen nagyobb. Beépített területen leggyakrabban ez a távolság már nem biztosítható.

Ezek mellett még létezik a jobbkéz szabály alkalmazásához, illetve a gyalogosok és kerékpárosok átkeléséhez tartozó látómező is. Utóbbi a gépjárművek megállási látótávolságához kapcsolódik.

Tervezéskor, bár ez több körülménytől is függ, de biztosítani lehet általában a megfelelő távolságokat, azonban már meglévő csomópontokban, leginkább a beépített területeken korlátozottak a lehetőségek. Problémát okozhat például, hogyha megváltozik a forgalmi rend, és az addig alárendelt út, esetleg fölérendeltté válik. Az előzőekből látható, hogy a fölérendelt út nem igazán szerepel a fogalom meghatározásánál a távolság tekintetében, így elképzelhető olyan eset, amikor a korábban fölérendelt útnál nem lenne meg az a távolság, ami az alárendeltté válásakor szükséges. Ezen kívül a látómező szabadon tartása az útkörnyezettől függ, amely időről időre változhat, például elburjánzó növényzet, kialakított parkolók vagy beépítések. Előfordulhat tehát, hogy meg kell vizsgálni a látómezőket. Ez egy elég nehéz feladat, hiszen részletes felmérést igényel, akár változó tényezők figyelembevételével, a néhány pontból álló felmérés sokszor kevés lehet, az elkészített fényképek pedig, csak nagyon ritkán, speciális feltételek mellett teszik lehetővé a szükséges távolságok lemérését. Egy lehetséges módszer lehet a földi lézerszkenneres technológia, mely ötvözi a két eljárást. Egyrészt sok pontot tárol és a koordináták mellett kiegészítő információkat, másrészt lehetővé teszi a távolságok lemérését. A következőkben az eljárás alapjait ismertetem.

3. Lézerszkennerek és működésük alapjai

A lézerfény 1960-as felfedezése a tudomány és az ipar sok területén nagy változásokat hozott, mivel ennek az új fényforrásnak a kedvező tulajdonságait rengeteg módon, rengeteg célra fel lehet használni, melyek azelőtt más technológiával nem voltak megvalósíthatóak. A lézer, mint ahogy angol neve is mutatja (*LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) fényerősítés indukált fénykibocsátás útján. Valamilyen gázt, folyadékot vagy szilárd anyagot energia befektetésével gerjesztett állapotba hozhatunk, vagyis atomjai az alapállapotból egy gerjesztett állapotba kerülnek. Ez történhet elektromossággal, fénnyel, melegítéssel vagy más elektromágneses hullámokkal. Mivel ez a gerjesztett állapot nem stabil, az atom visszatér alapállapotba, és közben egy fotont bocsát ki, ez a *spontán emisszió*. Ha egy atom fotonnal ütközik, gerjesztett állapotba kerülhet, miközben a foton elnyelődik, ezt *abszorpciónak* nevezzük. Amikor pedig egy gerjesztett állapotú atom közelében foton halad el, az atomot alapállapotba kényszerítheti, és ezzel egy vele minden tulajdonságában egyező foton kibocsátását idézheti elő, ez az *indukált emisszió*. Az említett három jelenség a lézer működésének alapja. Eredményeként a gerjesztett állapotba hozott anyag atomjai fotonokat bocsátanak ki, melyek egy része elnyelődik, más része viszont újabb atomokat kényszerít azonos tulajdonságú fotonok kibocsátására, így erősítve a kiszabaduló fényt.

A lézerfényforrásból kilépő sugár több jól kihasználható, egyedi tulajdonsággal bír a többi fénysugárhoz képest. Először is nagy térbeli koherenciával, vagyis egy előre meghatározott irányban képes terjedni, minimális szóródással. Ezáltal a fénysugarat nagy távolságon is viszonylag kis pontba tudjuk fókuszálni. Emellett a lézerfény időben is koherens, azaz a futási ideje és a hullámhossza is csak elhanyagolható mértékben változik, így ezek mérésével lehetővé válik az ezekkel függvénykapcsolatban lévő távolság meghatározása is. Előző két tulajdonságából következik, hogy a lézerfény szűk spektrális- és energiatartományban helyezkedik el, tehát hullámhosszának értéke pontosan ismert, monokromatikusnak, egyszínűnek nevezhető. Nagy és állandó energiasűrűsége pedig megkönnyíti érzékelését visszaverődés után is.

Sok más iparág mellett a geodéziai műszergyártók is megtalálták a módját annak, hogy hogyan használhatnák ki a lézersugár ezen előnyös tulajdonságait.

3.1. Lézertechnika alkalmazása a mérésekben

A legnagyobb áttörést a távolságok meghatározásában hozta a lézertechnika fejlődése. Az elektromágneses hullám és természetének megismerésével lehetővé vált a fizikai távmérés elvi és gyakorlati kidolgozása. Fizikai távmérés során egy adó egység valamilyen elektromágneses hullámot bocsát ki, mely egy vivőjelből és az arra ültetett mérőjelből áll, ezt egy vevő egység fogja fel. A visszaérkező jelet a kibocsátottal összehasonlítva lehetőség nyílik a távolság meghatározására. Kezdetben elektromágneses hullámok közül rádióhullámokat alkalmaztak, de a gallium-arsenaid félvezető dióda megjelenésével a lézer elvén keltett elektromágneses hullámok kiszorították ezeket.

Ha két pont közötti utat valamely elektromágneses hullám megteszi, és ennek a hullámnak ismerjük a sebességét, valamint képesek vagyunk közvetlenül vagy közvetve megmérni a futási időt, akkor a

$$D = v \cdot t_{\text{futásiidő}} \quad (3.1.)$$

képletből kiszámítható a két pont közötti távolság. A fizikai távmérésben használatos elektromágneses hullámok a fény látható illetve infravörös tartományából kerülnek ki, éppen ezért a hullámoknak a terjedési tulajdonságai, beleértve sebességüket is, ismertek. A futási idő megállapítására több módszer is kialakult, melyek mind egy külön távmérési eljárást jelentenek. Ez alapján beszélhetünk időméréses és fázisméréses távmérésről.

Időméréses távmérés esetén feltétel, hogy a mérendő szakasz végpontján a fény visszaverődjön. Mivel így a kérdéses távot a jel kétszer futja be, a 3.1. képlet a következőképpen módosul:

$$D = \frac{v}{2} \cdot t_{\text{futásiidő}} \quad (3.2.)$$

A futási idő meghatározásához szükséges, hogy valamiképpen megjelöljük a jelnek azon pontját, melynek a kibocsátása és a beérkezése között eltelt időt mérni tudjuk. A legkönnyebben azonosítható ilyen pont a kibocsátott és a beérkező impulzus függvényének maximuma. A vevőben előáll mindkét függvény derivált függvénye, a két derivált függvény zérus értéke indítja el, és állítja le az időmérő eszközt. Az időméréses távmérés elvén működő rendszerek nem folyamatos lézersugarat használnak, hanem külön álló impulzusokat. Amikor a vevő felfogja a visszaverődő impulzust, az adó akkor indítja csak a következőt. Az impulzus alakját egy átmeneti jeltároló őrzi, akkor, amikor az eleje már beérkezett, de a vége még el sem indult, így akár néhány centiméteres

távolságok is mérhetőek. A mérés feldolgozása pedig a teljes impulzus beérkezése után indul el. Az ilyen elven működő műszerek fényforrásai rövid idő alatt nagy fényenergiát képesek kibocsátani, kapcsoló és feldolgozó áramköreik pedig gyorsak. A módszer előnye, hogy a nagy energiasűrűségű kibocsátott fény következtében nagy távolságok esetében is lehetőség nyílik a nagy pontosságú mérésekhez szükséges *jel-zaj arány* ($SNR = \text{signal to noise ratio}$) elérésére. Hátránya viszont, hogy változékony külső körülmények esetében nehezkéssé válik az érkezési idő pontos megmérése.

Az egységnyi idő alatt keletkező mérőjel-periódusokat az elektromágneses hullám frekvenciájával jellemezhetjük. Ha ismerjük a hullám terjedési sebességét, akkor az egyetlen ciklus alatt megtett távolság az elektromágneses hullám hullámhossza lesz. Képlet formában:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.3.)$$

Fázisméréses távmérés esetén is a hullám a teljes futási idő alatt a megméréendő távolság kétszeresét teszi meg. Így ezt a távolságot jellemezhetjük úgy is, mint a hullám N számú egész ciklusa, valamint a fennmaradó csonka ciklus, vagyis a hullámhossz N -szerese és a maradék távolság.

$$\frac{D_{\text{csonka}}}{\lambda} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \quad (3.4.)$$

$$2D = N \cdot \lambda + D_{\text{csonka}} \quad (3.5.)$$

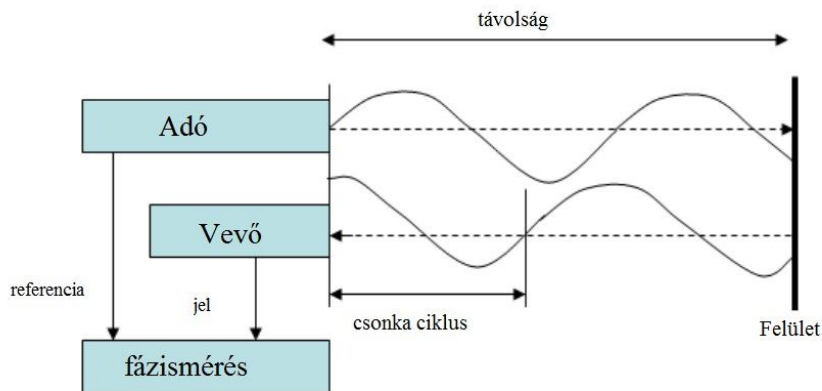
azaz

$$D = N \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{D_{\text{csonka}}}{2} \quad (3.6.)$$

Ebből a fázisméréses távmérés alapképlete:

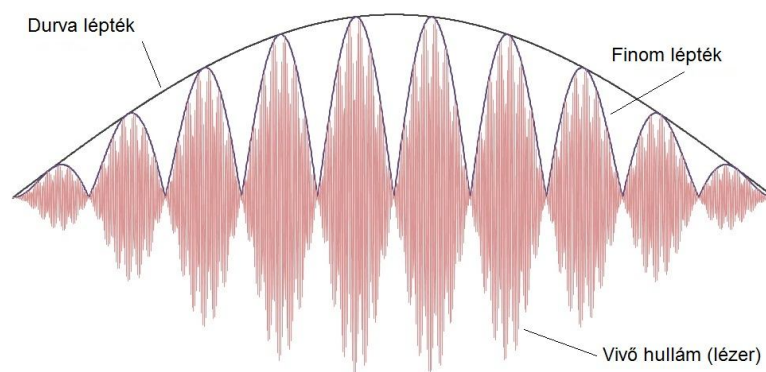
$$D = N \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3.7.)$$

A képletben szereplő $\lambda/2$ -t nevezzük a távmérés léptékének.



4. ábra A fázismérési távmérés alapelve [Van Genechten et al. 2008]

Méréskor a lézerfényt, mint vivőhullámot használjuk, ezt moduláljuk, még hozzá úgy, hogy több különböző mérőjelet állítsunk elő, amelyek mind más léptéket képviselnek. A visszaérkező jelnek vizsgáljuk a kibocsátotthoz viszonyított fáziskésését, így határozva meg a csonka ciklust. Abban az esetben, ha a távmérésünk léptéke nagyobb, mint a mérendő távolság az egész ciklusok száma nulla lesz, így a csonka ciklus hossza lesz a keresett táv. Ez esetben azonban hiába egyértelmű a kapott távolság, a távmérés nem lesz pontos, hiszen a fáziskülönbség megmérésében elkövetett kis hiba nagy távolsághibát fog okozni. Távmérésünk akkor lesz pontos, ha léptékünk kisebb, mint a távolság. Azért, hogy egyértelmű és pontos is legyen a mérés több léptéket alkalmazunk. A legnagyobb lépték a durva lépték, ez felel az egyértelműségért, a távolság ezres, százaz és tízes helyiértékeiért. A legkisebb léptéket pedig finom léptéknek nevezzük, ez felel a pontosságért, és a méteres illetve az alatti tagok meghatározásáért.



5. ábra Két modulált mérőjel és a vivőhullám [Van Genechten et al. 2008]

3.2. Lézerszkennerek fajtái és felhasználásuk

A fizikai távmérés elterjedésével és megbízhatóságának megnövekedésével a geodéziai mérési gyakorlatban nagyobb szerephez jutott a poláris pontszámítás. Részletmérések esetében ma már szinte csak ezt az eljárást alkalmazzuk, főleg mióta megjelentek a prizma nélküli távmérésre alkalmas eszközök is. Ha a poláris részletmérés folyamatát automatizálni tudjuk, akkor lényegében a lézerszkennelés megvalósításához jutunk. A lézerszkennelés műveletét a következőképpen definiálhatjuk [Van Genechten et al 2008]:

„Lézerszkennelésnek nevezzük azt a folyamatot, mely során egy felület modelljét lézer technológia felhasználásával készítjük el. Lézerszkenneléskor a valós világot vagy valamely objektumot és környezetét vizsgáljuk, hogy adatokat gyűjtsünk formájáról, esetlegesen megjelenéséről (pl. színe). Az összegyűjtött adatokat ezután felhasználhatjuk digitális, kétdimenziós rajzok vagy háromdimenziós modellek előállítására, melyeket széles körben alkalmazhatunk.”

Gyakorlatban ez a következőképpen történik. Lézerszkennelés során a szkennerek egy lézersugarat bocsát ki előre meghatározott irányba. A lézersugár egy része a vizsgált objektum felületéről visszaverődik, és visszajut a műszerbe, mely a fizikai távmérés valamely módszerével képes meghatározni a visszaverődési pont távolságát a kiindulási ponttól. Ezt a műveletsort ismétli a szkennerek, mégpedig úgy hogy a kibocsátott lézersugár irányát egy forgó vagy oszcilláló tükörrel folyamatosan változtatva végig pásztázza a kijelölt területet. A pásztázás során a fénysugár magassági szögének (θ) folyamatos változtatása mellett a műszer el is fordul a tengelye körül, melynek lépésköze ismert (ϕ). Ennek a két szögeértéknek a nagyságát képes az egyes pontokhoz rendelve tárolni, így a feldolgozó egysége a két szögből és a távolságból, az alábbi összefüggésekkel (3.8-3.10), meg tudja adni a vizsgált pontoknak a műszer saját koordinátarendszerében értelmezett térbeli koordinátáit.

$$X = D \cdot \cos \phi \cdot \cos \theta \quad (3.8.)$$

$$Y = D \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta \quad (3.9.)$$

$$Z = D \cdot \sin \theta \quad (3.10.)$$

Így rövid idő alatt nagyszámú pontot képes egy térbeli koordináta-rendszerben elhelyezni, vagyis egy pontfelhőt létrehozni, melyből utófeldolgozással készíthetjük el a végtermékeket.

A lézerszkenneres méréseket két csoportba oszthatjuk, úgymint statikus és dinamikus szkennelés. Statikus szkennelésnél a műszer egy adott ponton helyezkedik el az adatgyűjtés teljes időtartama alatt. A módszer előnye a nagy pontosság és a viszonylag nagy pontsűrűség. Dinamikus szkennelésnél azonban a műszer egy mozgó eszközre van felszerelve, például gépkocsi vagy repülő. Az ilyen rendszereket szükséges kiegészíteni valamilyen helymeghatározó rendszerrel is.

Magukat a szkennereket is többféle szempont szerint csoportosíthatjuk:

Hatótávolság

Látótér vagy látószög (*Field of view*)

Szkennelési módszer

Hatótávolság alapján beszélhetünk nagy, közepes és kis hatótávolságú lézerszkennerekről. Nagy hatótávolságúak a légiszkennerek, illetve a földi eszközök közül azok, amelyek 150 m-től akár 1 km-ig is képesek mérni. Ezeket digitális domborzat vagy felszín modellek előállítására használhatjuk. A közepes hatótávolságúak 150 m-től 1 m-ig használhatóak. A kis hatótávolságúak pedig 1 méternél kisebb távolságokon is képesek a modellalkotásra. Ilyen szkennereket orvosi és bűnügyi feladatokra használnak leginkább.

Látótér szerinti felosztásban léteznek olyan szkennerek, melyek csak egy előre megadott területet képesek letapogatni, ilyenek a légiszkennerek például. A földi lézerszkennerek legtöbbje képes a függőleges tengelye körüli teljes körülfordulásra, ezen kívül egy megadott magassági szögtartományban (60-80°) szkennelni. Léteznek még olyan földi lézerszkennerek, melyek nemcsak a függőleges, hanem a vízszintes forgástengelyük körül is majdnem teljes fordulatra képesek (270-320°). Az ilyen eszközök alkalmasak az úgy nevezett „dóm szkennelésre”.

A szkennelési módszer lényegében a távmérés módját jelenti ebben az esetben. Ez alapján beszélhetünk az időmérés elvén (*time-of-flight*), a fázismérés elvén (*phase difference, phase-shift*) és az interferometria alapján működő lézerszkennerekről. Léteznek még a távot trigonometriai módszerrel meghatározó, háromszögelésen alapuló műszerek is. Azt, hogy az általunk használt szkennerek milyen módszerrel mérik a távolságot fontos tudnunk, mivel ez nagyban befolyásolja több tulajdonságát is. Kihatással van a

hatótávolságára, illetve bizonyos körülmények egyes távmérési módszerek megbízhatóságát csökkentik, míg másik módszerét nem befolyásolják számottevően.

Napjainkban sok területen megnőtt az igény a háromdimenziós adatokra, modellekre, illetve az általuk szolgáltatott, vagy hozzájuk rendelhető többlet információkra. Éppen ezért ezeken a területeken előszeretettel alkalmaznak lézerszkennereket, mivel más módszerekhez képest gyorsabban képesek nagy mennyiségű adatot gyűjteni. A pontfelhő felmérése után pedig lehetőség nyílik CAD modellek, domborzati modellek vagy teljes adatbázisháttér létrehozására, illetve a pontfelhőhöz rendelhetünk fényképfelvételeket, melyek a modell textúráját adhatják. Így az építészetben például készülhetnek háromdimenziós látványtervek, nyilvántartások, az építési dokumentációk közül megvalósulási, javítási tervek, de kész épületek homlokzatfelmérésére is ideális. Nagy hatótávolságú lézerszkennerekkel terepi és domborzatfelmérés végezhető, a mérések feldolgozásával terep- és domborzatmodellek készíthetők, illetve földmunkák mértékét is meg lehet határozni. Ebből következően külszíni fejteknél a kitermelés helye és üteme is nyomon követhető. A régészet és a műemlékvédelem is előszeretettel alkalmazza a földi lézerszkennereket, mivel a leletek, műemlékek helye és állapota jól rögzíthető, a bonyolult formáknak olyan felmérése lehetséges, mely csak fotogrammetriai módszerrel volt ezelőtt kivitelezhető, viszont a felvételi hely kiválasztása sokkal könnyebb, és akár egy állásponttól is térbeli adatokat kaphatunk. Igazi nagy előnyt azonban a technológia nem is ezen a területen jelent, hanem a vonalas létesítmények közül a különböző csővezeték- és szállítóhálózatok részletes felmérésénél.

A közlekedéstudományban is előfordulhatnak olyan térbeli problémák, melyekkel kapcsolatban felmerülhet a technológia alkalmazása. Ezek leginkább a már megvalósult létesítmények különböző szempontok szerinti vizsgálatához kötődhetnek. Hong Kongban már alkalmaznak földi lézerszkennert az autópályákon és környezetükben, például az útfelület egyenetlenségeinek és az úrszelvénybe lógó nagyfeszültségű kábelek helyeinek kiszűrésére, ezen kívül kísérleti jelleggel a bevágások részsűjének megfigyelésére vagy a pálya zavartalan felmérésére is [Chow 2007]. A közúti biztonsághoz kapcsolódó felhasználási lehetőségekkel hazánkban is foglalkoztak már. A Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Településmérnöki Tanszékén a Tanszék Leica HDS6200 típusú szkennerevel 2011-ben történtek az első kísérleti mérések annak megállapítására, hogy miként lehetne felhasználni az eszközt a témában [Hegyi et al. 2011]. A tapasztalatok szerint a lézerszkennер alkalmazásának egyik nagy előnye a felmérés gyorsasága, így az

érintett útszakaszon a forgalmat a lehető legrövidebb ideig zavarják vagy akadályozzák, sőt lehetőség van a kisebb forgalmú éjszakai időszakban is a mérésre, mivel a műszer saját fényforrással dolgozik. A szkenneléssel nyert adatok mennyisége többszöröse a hagyományos módszerekkel elérhetőnek, így egy méréssel több különböző igény is kielégíthető. A pontfelhőkből könnyebbé és pontosabbá válik olyan információk begyűjtése, mint például a burkolat hibái, vagy a burkolati jelek és a forgalomtechnikai elemek helye és állapota. Utófeldolgozással lehetséges kereszt- és hossz-szelvények készítése tetszőleges helyeken, illetve térbeli modellek is előállíthatók. Az ilyen modellek teszik lehetővé a látómezők térbeli vizsgálatát. Ezzel a témával foglalkoztak már a Budapesti Műszaki Egyetemen is [Kibédy et al. 2007]. A csomópontokról készített pontfelhőt kétféleképpen dolgozták fel. Első esetben egyszerű vizuális elemzést alkalmaztak, vagyis a feldolgozó szoftverben megjelenített modellben a nézőpontot a kívánt helyre vitték és, így állapították meg, melyek a látható és a nem látható területek. Második esetben egy számítási eljárást dolgoztak ki, melyben az összes pontot exportálták a szoftverből, majd áttanszformálták a nézőpont poláris koordináta-rendszerébe, ezt követően a teret egy rácshálózattal fedték le, melybe besorolták a pontokat. Minden rácspanal végül csak az a pont maradhatott meg, amelynek a távolsága a nézőponthoz képest a legrövidebb volt, vagyis, ami a mögötte lévőket takarta. A megmaradt pontokat a szoftverbe visszaolvasva a nézőpontból látható területet kellett kapni. A végeredmény elemzésével úgy találták, hogy az eljárás nem tökéletes, mivel a pontok még ilyen sűrűségben sem egyeznek meg a felülettel, így előfordulnak rosszul besorolt pontok is, de a tévedés mértékét az összes ponthoz képest elhanyagolhatónak állapították meg.

Ezekből a példákban látható, hogy nem alaptalan a technológia alkalmazásának gondolata. A következő fejezetben egy általam elvégzett mérésen és feldolgozáson keresztül mutatom be a módszert a gyakorlatban, annak menetét, eredményét és további lehetőségeit. Az előzőekben ismertetett számítási módszert én nem alkalmazom, így több lépésben részletesebben és talán látványosabban tudom bemutatni a folyamatot.

4. Kiválasztott csomópont vizsgálata

Mintaterületnek Győr egyik csomópontját választottam, amely Győrsziget városrészben, a Semmelweis és az Erkel Ferenc utca találkozásánál található. Azért esett a választásom erre, mert a Jedlik-híd megépülésével a csomópontban megváltozott a forgalmi rend. Jelenleg az egyirányú Erkel Ferenc utca hivatott elvezetni az új híd okozta forgalomnövekedést, így ez a főlérendelt út, míg a Semmelweis illetve folytatása a Botond utca alárendelt, viszont kétirányú, kétszer egysávos út.



6. ábra A csomópont madártávlatból [Google Earth]

Nyugat felől érkezve a csomópont elég jól belátható, viszont a Semmelweis utcáról érkezve a sarkon álló épület közel van az út széléhez, ami ráadásul pont szerencsétlenül íves szakaszt követően érkezik. 2011-ben éppen az elsőbbségadás elmulasztásából következett be baleset, amikor egy motorkerékpár és egy személygépkocsi ütközött, a balesetnek egy súlyos sérültje volt [kisalfold.hu 2011]. Azóta a kihelyezésre került egy tükör, és a Stop táblákat is jobban láthatóvá tették.

Ezek ismeretében úgy gondoltam érdemes itt megvizsgálni, hogy vajon mennyire biztosítottak a látómezők a két elsőbbségadásra kötelezett ágon érkező járművezetők számára.

4.1. Helyszíni mérés

A mérést az Egyetem Közlekedésépítési és Településmérnöki Tanszékének Leica HDS 6200 típusú földi lézerszkennerevel végeztem, amely egy a fázisméréses távmérés elvén mérő földi lézerszkennerek. Mérési sebessége egyes beállításokban elérheti az 1

millió pontot másodpercenként. Hatótávolsága 79 méter, amely az ilyen típusú műszereknél jellemző érték, mivel ennél nagyobb távolságon a durva léptékkel sem lesz egyértelmű a távolság. Ez az érték az elméleti korlát, valójában jó fényvisszaverő-képességű anyagok és kedvező beesési szög esetén igaz, inkább a 30-40 méter az a távolság, amin még általánosan és jól használható. Ez persze egy felvételi helyre igaz, de a különböző felvételeket össze tudjuk később illeszteni. A műszer igazi előnye a gyors mérési sebessége, vagyis utcai körülményekhez alkalmas felbontásban körülbelül 3 és fél perc alatt végez, így a lehető legrövidebb ideig kell esetlegesen a forgalmat zavarni, ez is inkább a gyalogos és kerékpáros forgalomra lehet igaz, mivel az útpályát egyáltalán nem kell elfoglalni a mérés során. Az így felmért pontok térbeli megbízhatósága 5-9 mm, a távolság és a fényvisszaverési képesség függvényében, ami a mérési eredmények elméleti érték körüli szórásaként értelmezhető. Látótere $360^{\circ} \times 310^{\circ}$, vagyis képes a „dóm szkennelésre”, azaz csak a saját műszerteste által, maga alatt kitakart részt nem veszi fel. A kezelőfelületet, magán a műszeren, néhány gomb és egy képernyő jelenti, melyekkel megtehetjük a főbb beállításokat, de Wifi-n keresztül bármilyen eszközzel vezérelhetjük, csak egy böngésző kell hozzá, ennek köszönhetően a szükséges beállítások is gyorsan elvégezhetők, ami még gyorsabb mérést tesz lehetővé. Belső merevlemeze 60 GB-os, de lehetőségünk van USB, illetve Ethernet porton keresztül közvetlenül számítógépre vagy más adattároló eszközre is menteni. Az áramellátást belső akkumulátorral oldhatjuk meg, amely 2,5 órás intenzív működést tesz lehetővé. Geodéziai célú felhasználását kéttengelyű kompenzátor és elektronikus dőlésérzékelő teszi lehetővé.

A felmérést két részre bontottam. Először a csomópontot vettem fel. A mérésre délután került sor, így nem volt teljesen forgalommentes ez az időszak, hanem hullámokban érkeztek a járművek. Magát a szkennelést megszakítani majd folytatni nem lehetett, de szerencsére erre nem is volt szükség, mivel az elhaladó járművek néhány pontsorban szerepeltek csak, körvonalukkal, ezeket a pontokat pedig könnyedén kiszűrhettem utólag. Azért, hogy könnyebben kezelhetőek legyenek az állományok *high* felbontást választottam, ami körülbelül 6x6 mm-es rácshálóban mér, ennél még két nagyobb felbontást tud, viszont a minél részletesebb modell érdekében összesen négy helyről, a csomópont négy sarkából készítettem felvételt. Mivel ezek mind külön koordinátarendszerrel rendelkeztek aszerint, hogy a műszer éppen hogyan lett felállítva, együttes kezelésükhöz közös rendszerbe kellett később transzformálnom mindet. Ehhez szükség volt arra, hogy a helyszínen jeltárcákat helyezzek el, amik később több

pontfelhőben is megjelentek, és közös pontként megteremtették a kapcsolatot. Mivel az utófeldolgozás során a pontok aszerint kapnak pirostól kékig terjedő skálán színt, hogy milyen volt a visszaérkező fény intenzitása, és az ilyen ponthalmaz kicsit nehezen emészthető gyakorlatlan szemlélőnek, szerettem volna, ha valós színekben is megjeleníthetem a modellt. Ennek érdekében digitális fényképezőgéppel kellett fényképeket készíteni, lehetőleg a szkennер nézőpontjából, mivel ez a típus nem rendelkezik beépített kamerával. Ezt egy speciális kiegészítő tette lehetővé, mely a műszertalpra helyezve, közel központosan tartotta a gépet, ráadásul a pontosan 60°-os elfordulást is segítette, így minden egyes pontfelhőhöz hat fényképet készítettem. A teljes mérés az átállásokkal és a fényképezésekkel sem tartott egy óránál tovább.

Mivel szerettem volna, ha egy személygépkocsi holtterét is figyelembe tudom venni, egy másik napon külön beszkennelem egy autót három állásból. Itt mivel nem teljes pontfelhőket mértem, csak negyedeket, illetve a kisebb hasznos felület miatt a fényképeket sem kellett központosan készíteni, fél óra alatt végeztem.

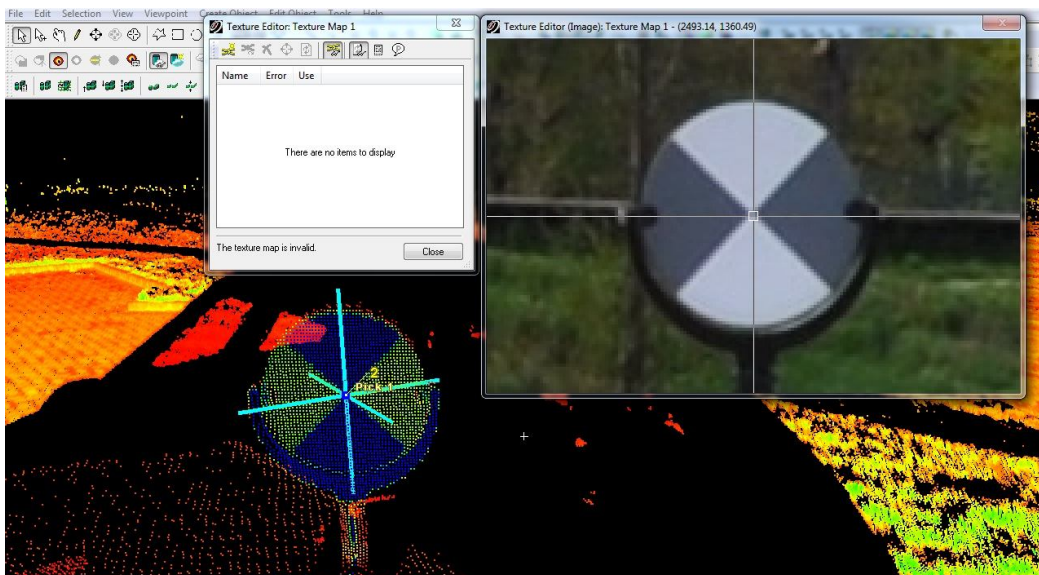


7. ábra Csomópont szkennelése, a digitális fényképezőgép halszem objektívjével készült képen

4.2. Mérési eredmények feldolgozása

A szkennerből kiolvasott pontfelhők az autó esetében 50, a csomópontnál körülbelül 200 Megabyte-osak voltak. Ebből látható, hogy elég jelentős adatmennyiséget képes produkálni a műszer. A mérések feldolgozását a műszer saját programjával, a Leica Cyclone 7.3-mal végeztem. Első lépésként létre kellett hozni egy adatbázist a programban, amely az egy munkához tartozó összes állományt tárolja, mivel a nagy mennyiségű adatot leginkább hivatkozásszerűen kezeli, így gyakran csak menetközben

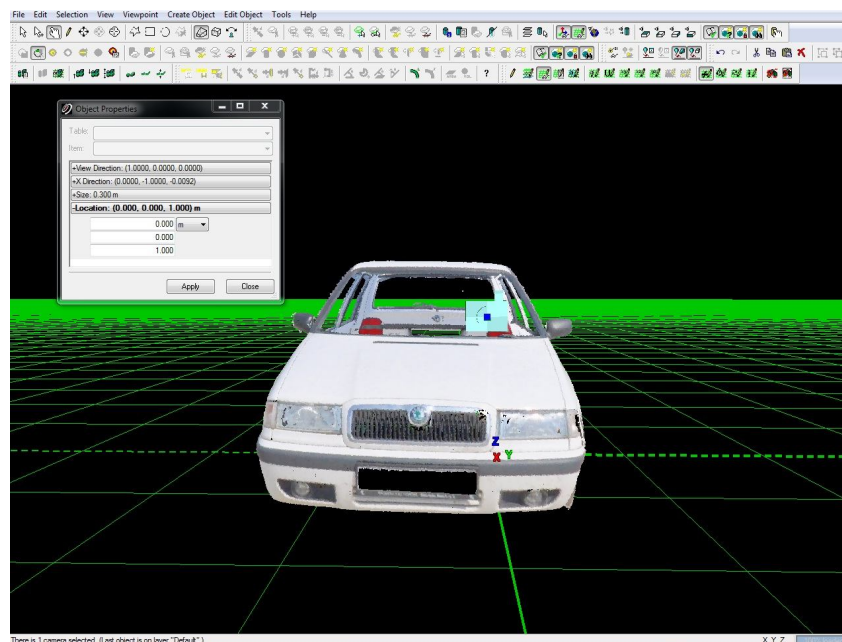
olvassa be az érintett részeket. Ezután ebbe az adatbázisba kellett importálni a kiolvasott fájlokat, ez kissé idő igényes művelet volt, bár ezen a felbontáson még nem vészes. Az importálás végeztével tudtam megtekinteni a nyers eredményeket. Sajnos az eszköz maga nem ad információt arról, hogy mi került a pontfelhőbe, csak wifis vezérlés esetén a telefonunkon vagy laptopunkon kapunk egy kisméretű képet, emiatt körültekintően kell a mérést megterveznünk és végrehajtanunk, sokszor inkább vállalni kell a nagyobb mérési ablakot, mint hogy elmaradjon egy fontos részlet. Most nem volt probléma, mind a csomópontnál, mind az autónál minden szükséges részlet megvolt. A feldolgozást az autóval kezdtem. Első lépésként a közös pontként szolgáló jeltárcsákat kellett megkeresnem a pontfelhőben, kijelölni a pontjait, és megadni, hogy milyen típusú jel volt az. Ezek ismeretében a program pontosan meg tudta határozni a középpontjához tartozó koordinátát, amelybe egy pontot helyezett el. Ezt követően azonosítóval kellett ellátnom, hogy meg lehessen feleltetni a másik pontfelhővel majd. Miután ezzel végeztem a fényképek társítása következett az egyes pontfelhőkhöz. A megfelelő fotók betöltését követően, keresni kellett olyan részleteket, amelyek a felhőben és a képen is jól azonosíthatók voltak, ilyenek voltak például a jeltárcsák vagy a sarokpontok. 7-8 ilyen pont kijelölése után már létre is jött a kapcsolat, és a megjelenítést valós színekre is lehetett váltani. Ezután a felhő felesleges részei eltávolíthatókká váltak.



8. ábra Jeltárcsa pontfelhőben és fényképen

Miután a műveletsort megismételtem a többi részleten is, következhetett az összeillesztés. Ez nem egy bonyolult dolog, ha az ember gyakorolja párszor, bár elsőre nem minden lépés tűnik logikusnak. Lényegében automatizált az egész itt csak arra kellett figyelni, hogy mivel csak két jeltárcsát használtam, be kellett állítanom, hogy úgy nevezett *levelled*

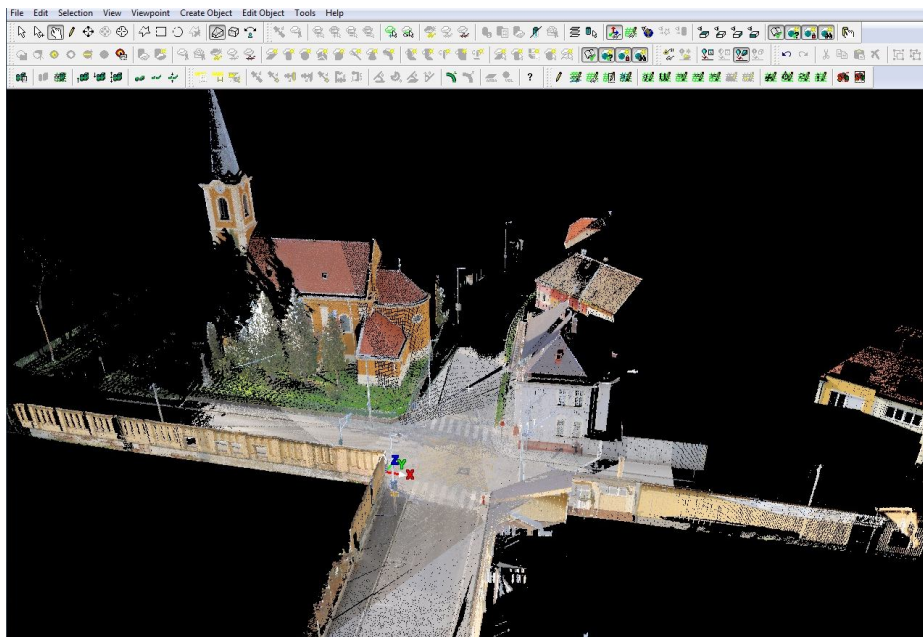
szkennelés történt, vagyis a műszert mindig függőlegesre állítottam. Az immár valós színű és összerakott autóval még egy dolgot meg kellett tennem, hogy jól használható legyen, ez pedig a koordinátarendszer beállítása volt. Az Útügyi Műszaki Előírásban benne van, és a *2.3-as fejezetben* én is említettem, hogy a vezető szemmagasságát 1 méter magasságban kell felvenni. Azt szerettem volna, ha a koordinátarendszer origója a vezető nézőpontjában helyezkedik el, mert akkor a csomópontban elég megadnom ezt a helyet, és az autót be lehet könnyedén illeszteni. Ezt úgy értem el, hogy felvettem egy referencia síkot a kerekek alsó pontjába, majd a kezdő pontját eltoltam a vezető helyére, a +X tengelyt, pedig a haladási irányba fordítottam, és ehhez rögzítettem a koordinátarendszert. A programban lehetőség van rögzített nézőpontok elhelyezésére, amiket kamerák jelölnek. Egy ilyet illesztettem én is be, méghozzá ebben a rendszerben az origó fölé 1 méterrel, úgy hogy a +X tengely irányába nézzen, vagyis éppen a vezető nézőpontjába. Ezt követően az eredeti rendszert felemeltem a kamera középpontjába, és mentettem.



9. ábra Az autó pontfelhője a vezető nézőpontjába helyezett kamerával

A csomópont feldolgozása egészen hasonlóan történt. Ott is a jeltárcsák beazonosításával kezdtem, majd a fényképeket illesztettem. Ezzel kapcsolatban az volt a tapasztalatom, hogy külön-külön jól néztek ki a pontfelhők, de az egyesítés után az eltérő fényviszonyok között készült képek pontjai összekeveredve zajos hatást keltettek. Végül nem használtam fel mind a négy szkennelést, csak hármat, de ez is akkora pontmennyiséget jelentett, amit már nem töltött be teljes egészében a szoftver az én hardveres környezetemben, hogy a gyorsabb működést biztosítsa. Ez alapján inkább 1-2

jobban megválasztott helyet érdemes alkalmazni, mint arra törekedni, hogy minden minden oldalról fel legyen mérve, valamint megfontolandó a csomóponti ágakban is még egy állást felvenni, mert az útburkolatról közepes távolságokból már nem érkezik vissza értékelhető jel, nem képződik pont. A csomópont esetében azt mondhatjuk, hogy a színhelyes megjelenítés az elemzés során nem kimondottan előnyös, sokszor az intenzitás szürkeárnyalatos megoldása jobb választás, viszont kétségtelenül fontos információkat hordoznak magukkal a képek is. Szerencsére a pontok színét bármikor oda-vissza válthatjuk.



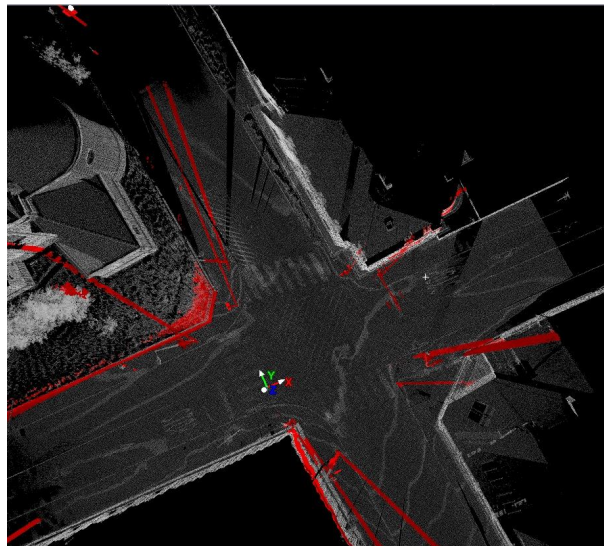
10. ábra Csomópont modellje valós színben

4.3. A láthatósági viszonyok elemzése

Ebben a csomópont kialakításban az alárendelt két ágról érkezők elindulási látótávolságát, illetve látómezejét volt érdemes elemezni. Első lépésként meghatároztam az elsőbbséggel rendelkező útszáltól számított 3 métert, ez könnyedén végrehajtható volt, mivel minden pont rendelkezik térbeli koordinátával. Először kiválasztottam az út két oldalán az útszélhez tartozó egy-egy pontot, majd ezek közé egyenest fektettem az erre szolgáló paranccsal. Ezt követően felvettem egy referencia síkot, ennek a programbeli megjelenítése egy rácsháló, amivel meghatározhattam a 3 méteres távolság egyenesét, végül meg kellett keresnem azt a pontot, ami a kellő távolságban volt, majd a koordinátarendszert áthelyezni. Így az autó feldolgozásánál ismertetett módon leraktam egy kamerát, ami a vezetőt helyettesítette. A Cyclone-ban van egy panoráma elnevezésű megjelenési mód, amit, ha a kamerát kiválasztva kapcsoltam be, akkor a nézőpont rögzült

és csak forгатni tudtam, így a vizuális elemzés elvégezhetővé vált. A botond utcai ágnál szemmel látható volt, hogy a templom kerítése nem nagyon takart, a főrendelt utca beláthatósága biztosítva volt, főleg úgy hogy az íve is olyan irányú, hogy ennek kedvezett. A semmelweis utcai ág, viszont már ekkor láthatóan problémás volt, ezért a nézőpontot és a takaró épület sarkát összekötöttem egy egyenessel. Ezt az egyenest az Erkel Ferenc utca tengelyéig kihosszabbítva le tudtam mérni a pontok közti távolságot. A látóháromszög befogója 51,7 méter jött ki, ami a 30 km/h helyszínen megengedett sebességen elindulási látótávolságnak megfelelő, de a megállási látótávolság mindenképpen biztosított legalább az elsőbbséggel rendelkező úton haladó jármű számára.

Tehát a minimális látótávolság biztosított volt. Ezt követően azt szerettem volna kideríteni, hogy a különböző tereptárgyak ebből mennyit vesznek el. Ez már egy kicsit nehezebb kérdés volt. A programban lehet perspektív nézetet használni, illetve szerencsére úgy működik a kijelölés, hogyha valamit lekeríték, akkor az összes pontot, ami a nézőpontból szemlélve beleesik a keretbe kijelöltnek veszi. Ezt a két tulajdonságot kihasználva, körbetekintve lekerítettem az összes szóba jöhető takaró objektumot, mint például lámpaoszlopok, jelzőtáblák, majd egy új üres térbe másoltam, ahol a megjelenítését pirosra változtattam, ezt követően pedig a pontfelhő részletet visszaállítottam az eredeti helyére. Az eredeti pontfelhőt szürkeárnyaltosra váltva, létrejött egy olyan nézet, ahol a takart részek vörösen elütöttek a láthatóktól.



11. ábra Botond utca felől takart részek

Az így megkapott csomóponti képek alapján különösebb veszélyes rész nem volt kimutatható, a takart részek nem érintették a csomópont belsejét egyik ágról nézve sem.

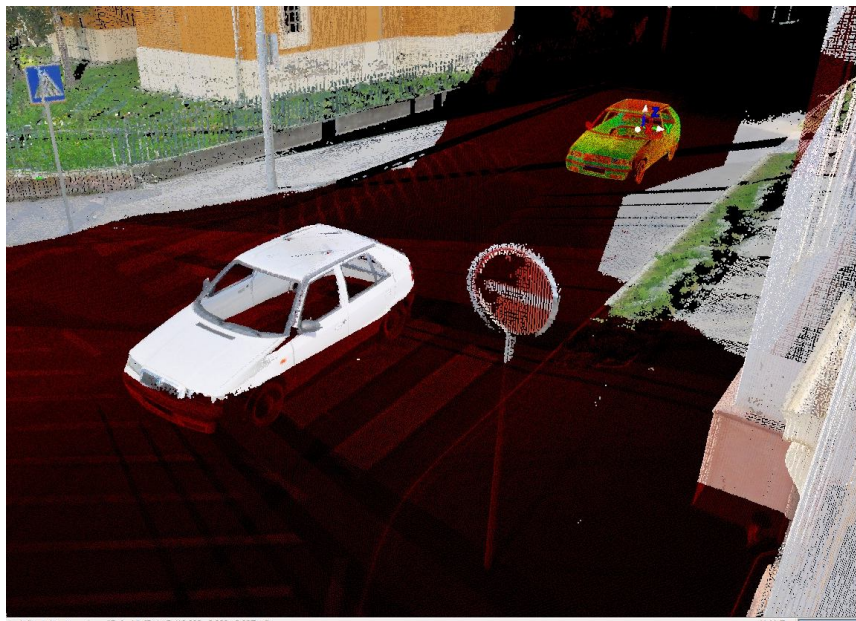
Felmerült tehát, hogy a kialakítás esetleg nem is annyira veszélyes, és a problémát a megváltozott forgalmi rend figyelmen kívül hagyása okozza inkább. Ahhoz hogy ezt eldöntsem még meg akartam vizsgálni járművel együtt is a helyzetet, tehát a koordinátarendszert úgy vettem fel, hogy a vezető szemszögében legyen az origó és a haladási irányba nézzen az X tengely. Mivel várhatóan a semmelweis utcai ág volt a problémásabb itt kezdtem. Az autót beillesztve és a nézőpontba váltva a megjelenítést azonnal látható volt, hogy a helyzet rosszabb, mint amit az előbb mutatott. A főlerendelt út szélétől 3 méterre helyezve a vezetőt (ez azt jelenti, hogy az autó eleje nincs ilyen távolságra a csomóponttól), a jobb oldali A oszlop és visszapillantó tükör a legfontosabb területet kitakarta. Az előbb elmondott kijelölési, másolási műveletsort elvégezve a csomópont holttérről módosított képét kaptam. Az épületek, mint takaró objektumok vörösek, a csomópont vörös részei viszont a holttérből adódnak.



12. ábra Semmelweis utcán érkező jármű holttere által kitakart rész

Első ránézésre nem tűnik valósnak, hogy a csomópont közepéből semmiesem látszik, de ez azért van, mert csak a burkolat pontjain lehetett ábrázolni a takarást. Az Útügyi Műszaki Előírás azt mondja, hogy az elsőbbséggel rendelkező járművet is 1,00 méter magasságban kell felvenni. Ezt úgy tudtam megvalósítani, hogy az Erkel Ferenc utcára is elhelyeztem két autót, egyet a gyalogátkelő helyre, amit a kocsi orra takart, egyet pedig hátrébb, amit valószínűleg már az A oszlop. A közelebbi autó csak kerék magasságig nem volt látható,

a távolabbi vizsont egyáltalán nem. Még azt volt érdekes kideríteni, hogy ez melyik szakaszon igaz, ezért lemértem a távolságokat, és azt kaptam, hogy az álló autó vezetőjéhez képest 15-20 méter távolságok közötti részen tartózkodó másik jármű egyáltalán nem látszik, ha az előírt 3 méter távolságban, 1 méter magasságban, átlagos járműben ülő vezető csak a fejét fordítja, és nem próbál előrébb dőlni. Ezt a helyzetet a valóságban úgy igyekeznek elkerülni a járművezetők, hogy előrébb gurulnak, ekkor azonban fennáll a veszélye, hogy belógnak a kereszteződésbe. Meg kell jegyezni viszont, hogy az Erkel Ferenc utca kellően széles, ahhoz, hogy az érkező kis mértékben kitérjen.



13. ábra Kellő magasságban látszó és teljesen takart járművek

A Semmelweis utca után a Botond utcán is megnéztem a holtteret, de ott az Erkel Ferenc utca felől érkező járművek nem voltak takarva, azért is, mert ott balról érkeztek, vagyis a vezető közelebb ült az ablakhoz.

4.4. Értékelés

Összességében maga a kereszteződés nem különösen veszélyes, amennyire a környezet engedi a látótávolságok biztosítottak, bár a Semmelweis utca felől érkezők az épület és a járművek holttere miatt nem látnak megfelelően, kissé előrébb gurulva még nem zavarják túlzottan az elsőbbséggel rendelkezőket, de a látási viszonyaik javulnak. Ennek ellenére komoly konfliktusforrás, hogy ekkora rész esik takarásba, ezt csökkentendő 2011 óta kihelyezésre került egy tükör is, ami segíti mindkét ágon az érkezőket. A korábbi balesetek valószínűleg inkább az elsőbbségi viszony

megváltozásából adódtak, azóta az elsőbbségadásra figyelmeztető táblák jobban láthatóak.

Véleményem szerint a példa megmutatta, hogy a láthatóság vizsgálatában nem hagyhatjuk figyelmen kívül a járművet, mint tényezőt.

5. Összegzés

Dolgozatomban a közúti biztonság tárgyában, a csomópontok biztonságát befolyásoló tényezők közül a látómezőket vizsgáltam egy gyakorlati példán keresztül. Ehhez egy viszonylag új technológiát, a földi lézerszkenneres felmérést alkalmaztam. A módszer előnye, hogy a forgalom zavarása nélkül, gyorsan képes nagy mennyiségű térbeli adatot gyűjteni, amely ötvözi a fényképek információtartalmát a geodéziai felmérések numerikus adataival. Ennek köszönhetően egyszerre vizsgálhatóak vele a vízszintes és a magassági kialakítások, az előírás szerinti úrszelvények és látómezők megléte, illetve a forgalomtechnikai elemek és állapotuk. A gyakorlati példához szükséges mérést a Semmelweis – Erkel Ferenc – Botond utca találkozásánál elhelyezkedő csomópontban végeztem forgalmas időben, mégis gyorsan gond nélkül sikerült végrehajtanom. A pontfelhők megjelenítését a helyszínen készített fényképekkel tettem a valósághoz hűbbé. A látótávolságok előírás szerinti meglétét pontfelhőbeli távméréssel, valamint vizuális kiértékeléssel ellenőriztem. Az utóbbi módszer eredményét igyekeztem a lehetőségekhez képest képernyőképeken megjeleníteni. A körülmények miatt érdekessé vált az elsőbbségadásra kényszerülő autók holtterét is vizsgálni, ehhez szintén szkenneléssel modelleztem egy átlagos személygépkocsit, melyet előírás szerinti helyre tudtam beilleszteni. Így lehetőség volt elképzelt helyzetek előállítására, mint például, a holttér és a két érkező autó viszonyának vizsgálatakor. A csomópontra vonatkozó következtetéseim, hogy nem a láthatóság az elsődleges probléma, de ez is szerepet játszhat az egyik irányból.

Ebben a dolgozatban nem vizsgáltam más járművek, illetve közlekedők, például buszok, kerékpárosok, gyalogosok hasonló problémáit. Ez a továbbiakban egy lehetőség lehet, esetleg egy másik csomópont komplex elemzése során. Nem vizsgáltam a helyszínből adódóan a nagyobb magasságkülönbség problémáját, amire az eljárás szintén jól alkalmazható.

A feldolgozásban egyszerű módszerekkel dolgoztam, ebben is lehetnek még továbbfejlesztési lehetőségek a későbbiekben. Az eljárást jól alkalmazhatónak ítélem meg, talán a feldolgozó programnak van pár apró hibája, ami kicsit lassítja a munkát, de ezzel együtt is gyorsan lehet dolgozni vele.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik elkészítése során a segítségemre voltak.

Koren Csaba tanár úrnak, aki a konzulensem volt, illetve **Hegyi Pál** és **Magyari Zsófia** tanszéki mérnököknek, akik nélkül a mérések nem sikerülhettek volna.

Kelt: Győr, 2012. április 17.

.....
Mester Márton

6. Irodalomjegyzék

1. CHOW, Kvan Lam (2007): Engineering Survey Applications of Terrestrial Laser Scanner in Highways Department of the Government of HKSAR, Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week 13-17 may 2007, Hong Kong, China
2. Hegyi Pál, Mester Márton, Miletics Dániel, Pesti Bálint, Pöröntő András (2011): Földi lézerszkennер alkalmazhatósága közúti biztonsági helyszíni vizsgálatok során, In: XII. Földmérő Találkozó kiadványa, Nagyvárad, Románia, pp. 50-55
3. Holló Péter (2007): Gondolatok az emberi tényező közlekedésbiztonsági szerepéről, Közúti és Mélyépítési Szemle, Budapest, 57. évfolyam 12. szám, pp. 25-26
4. Kibédy Zoltán, Szöcs Katalin, Barsi Árpád (2007): Közlekedési csomópont beláthatósági vizsgálata földi lézerszkenneléssel, Geomatikai Közlemények, Sopron, 10. évfolyam, pp. 257-264
5. kisalfold.hu (2011): Motor és autó ütközött Győrben – egy súlyos sérült, http://www.kisalfold.hu/gyori_hirek/motor_es_auto_utkozott_gyorben_-_egy_sulyos_serult/2208248/, (2012.04.05-i állapot)
6. Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2010): Jármű állomány, http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_odme001.html, (2012. 04. 09-i állapot)
7. Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2011): Személy sérüléses közúti közlekedési balesetek a baleset természete szerint, http://ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ods005.html, (2012. 04. 09-i állapot)
8. Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2012): Személy sérüléses közúti közlekedési balesetek, http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_ods001.html, (2012. 04. 09-i állapot)
9. Útügyi Műszaki Előírás (ÚME) (2004): Szintbeni közúti csomópontok méretezése és tervezése, ÚT 2-1.214 (e-UT 03.03.21), Magyar Útügyi Társaság, Budapest
10. Van Genechten, Björn – Heine, Erwin – Lerma, José Luis – Quintero, Mario Santana (2008): Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, Spain



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR

Veszélyes csomópontok vizsgálata földi lézerszenkeres mérések felhasználásával

KÉPMELLÉKLET

XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia

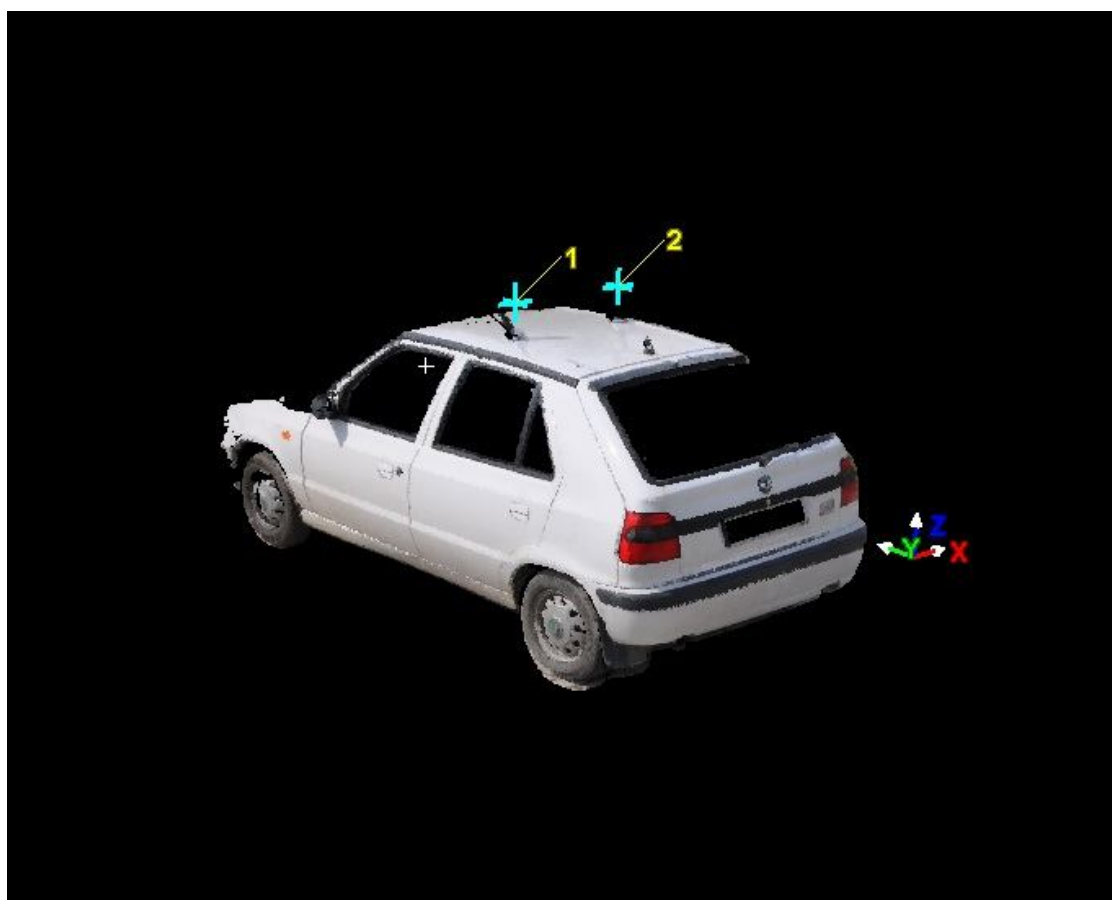
Konzulens:
Prof. DR. KOREN CSABA
egyetemi tanár

Készítette:
MESTER MÁRTON
infrastruktúra-építőmérnöki MSc
I. évfolyam

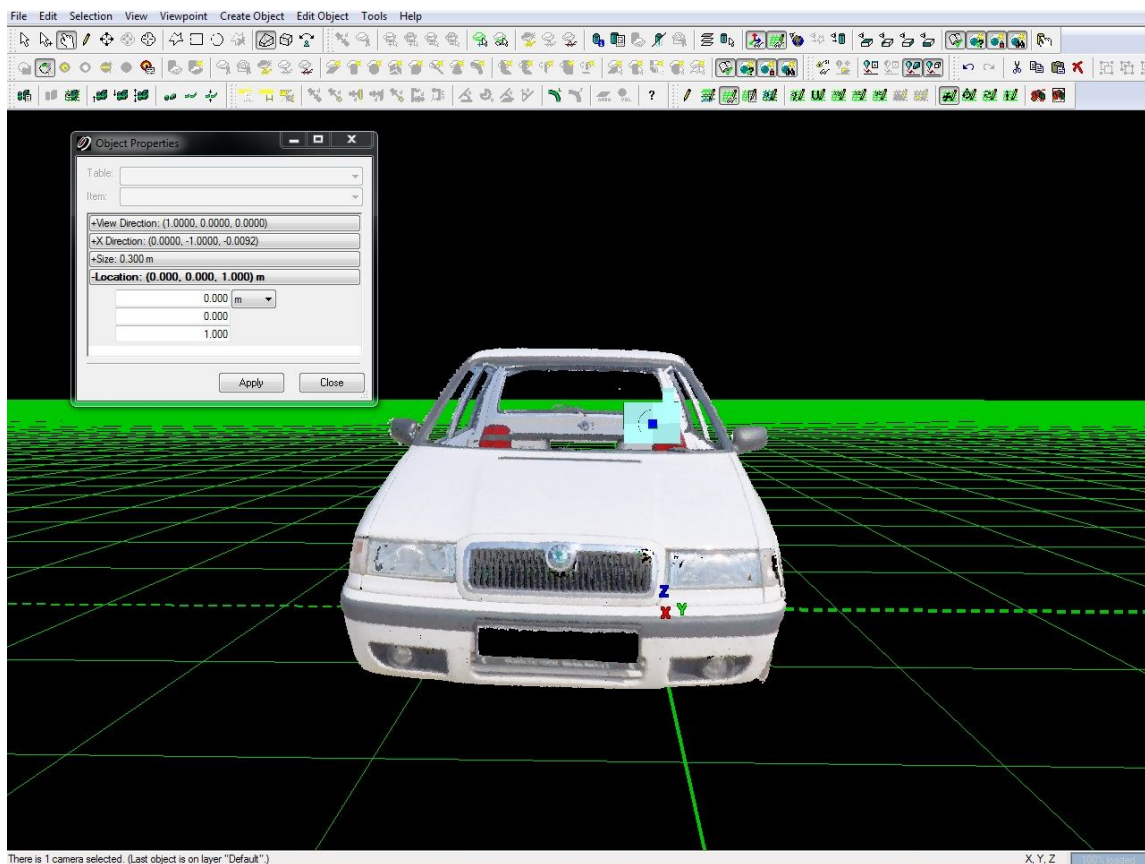
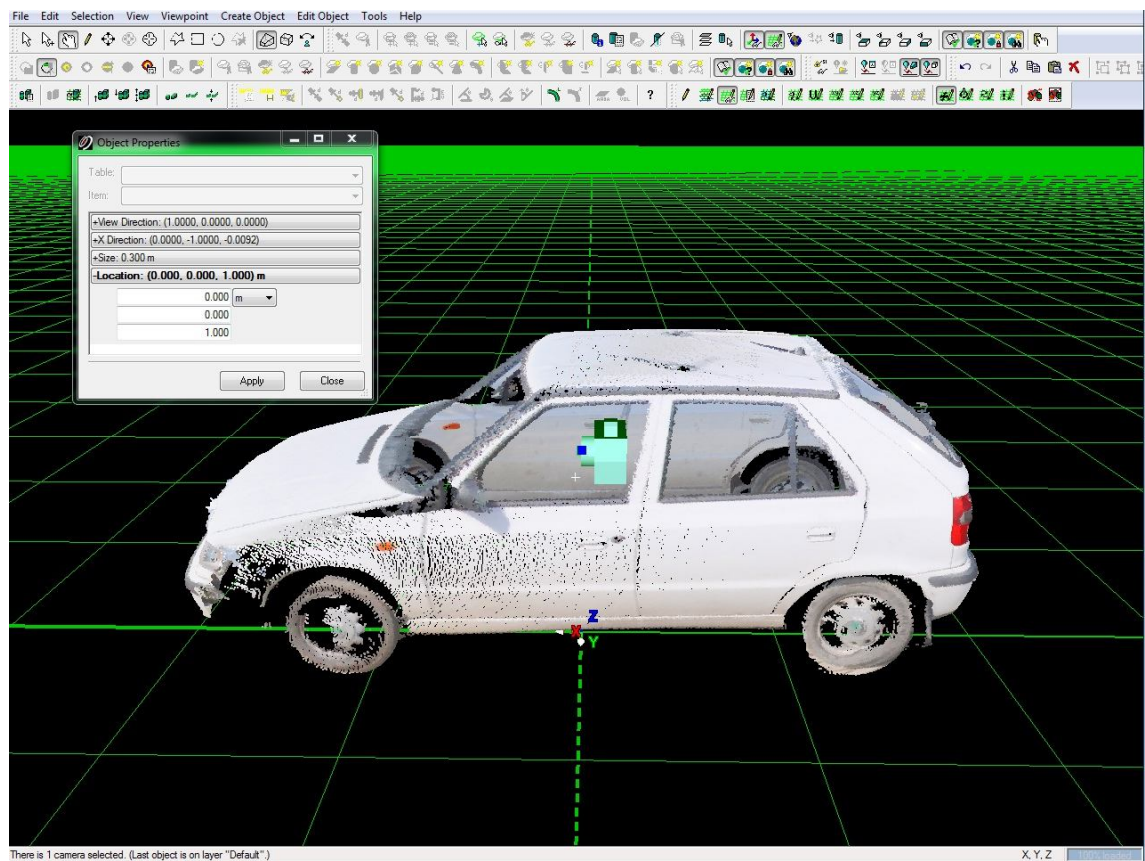
Győr
2012



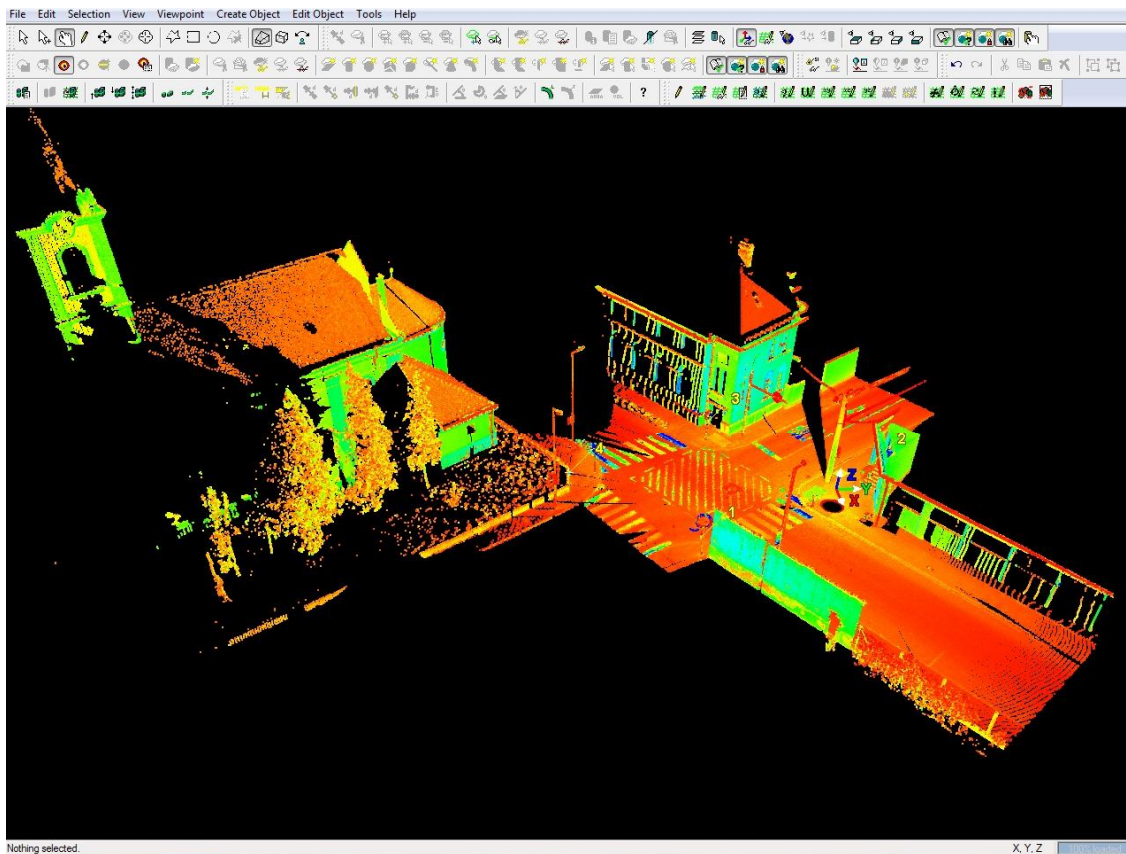
1. ábra Autó nyers pontfelhője illesztőpontokkal



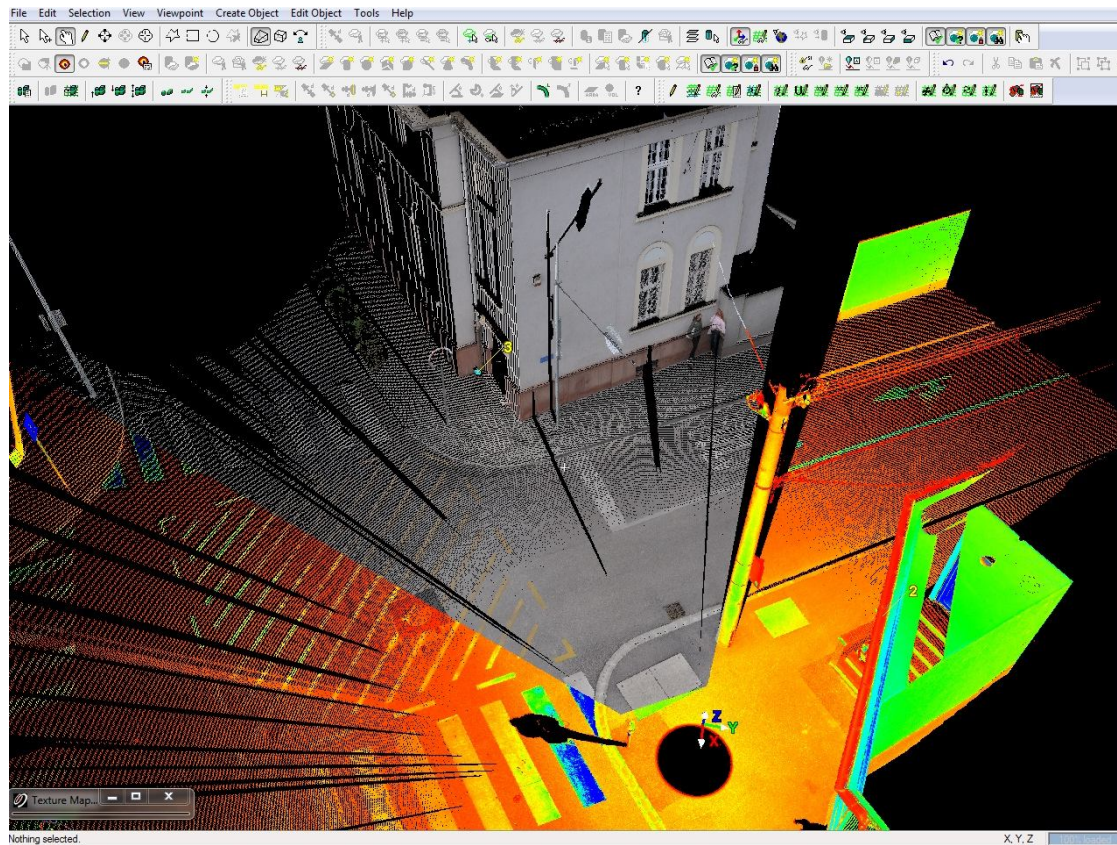
2. ábra Autó pontfelhője fényképi színekben



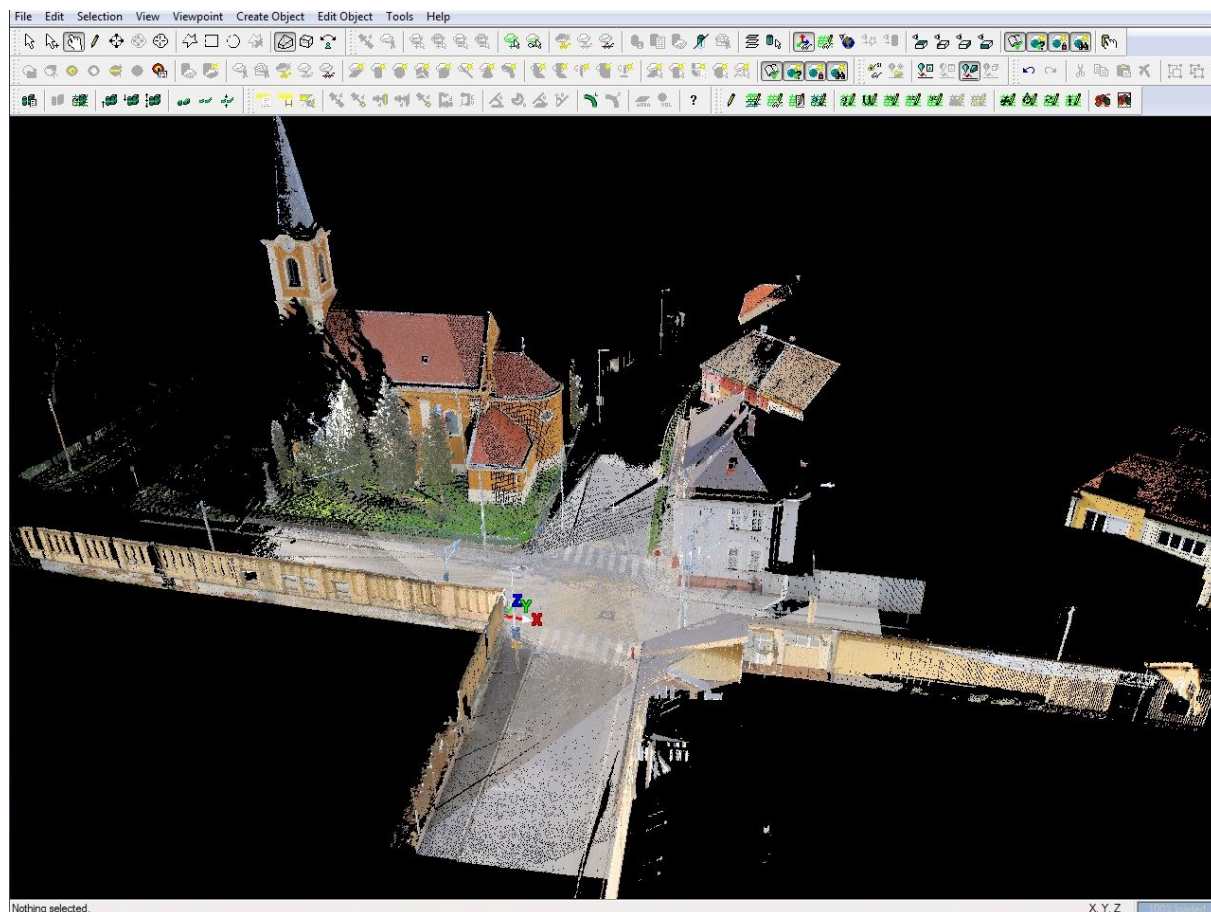
3. ábra Vezető nézőpontjának elhelyezése oldalról és szemből



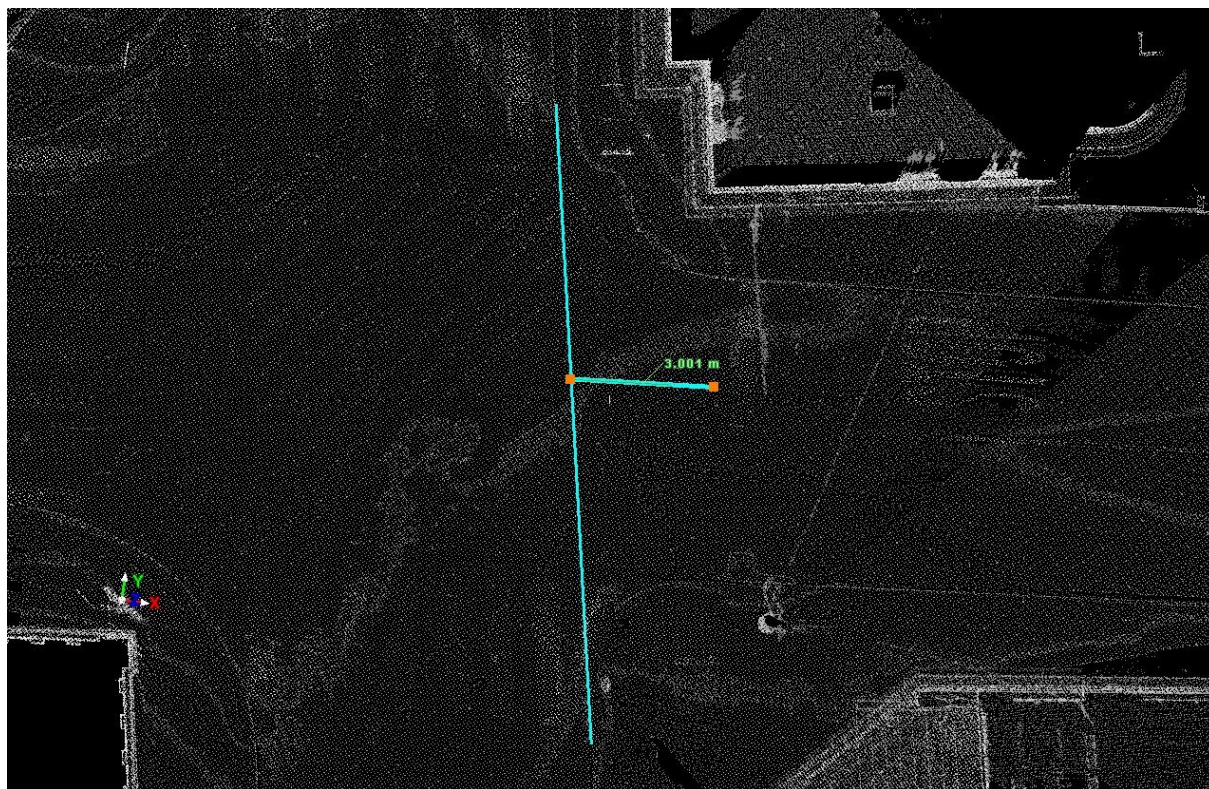
4. ábra Kereszteződés nyers pontfelhője az első állásról



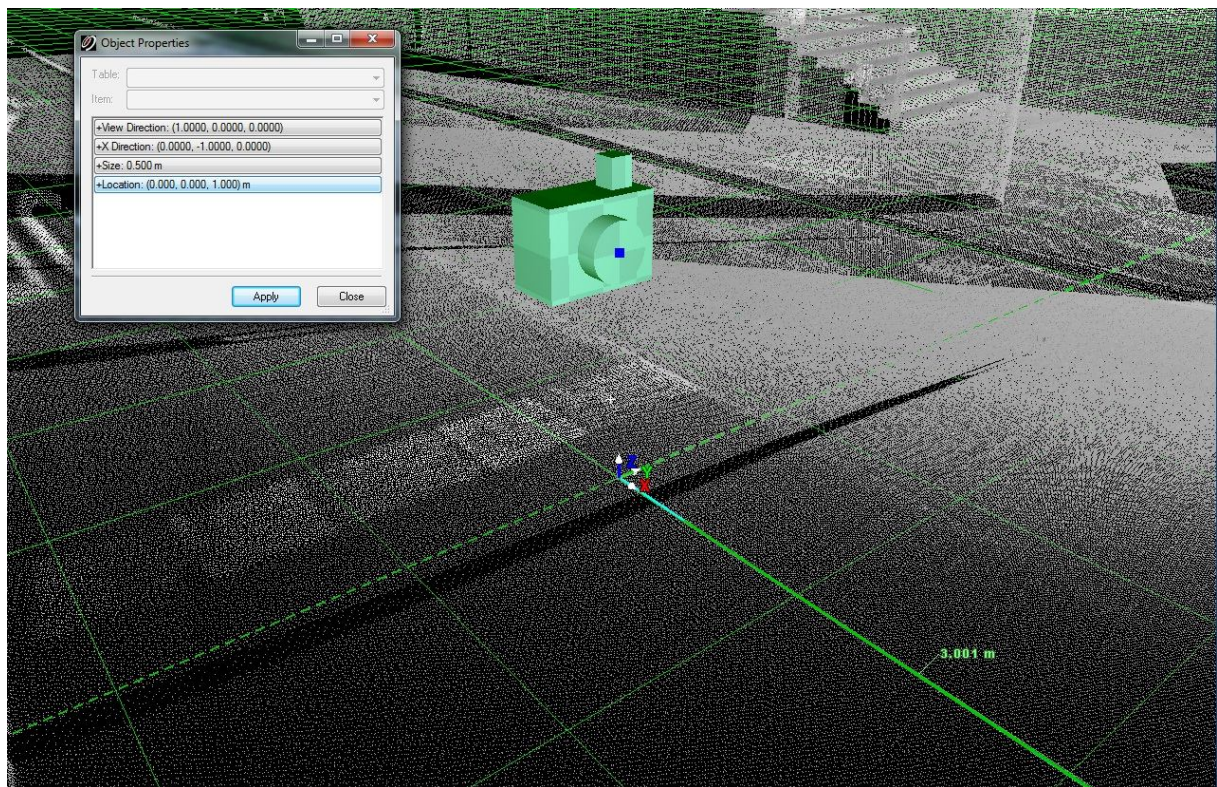
5. ábra Első fénykép illesztése



6. ábra Teljes kereszteződés fényképi színekben



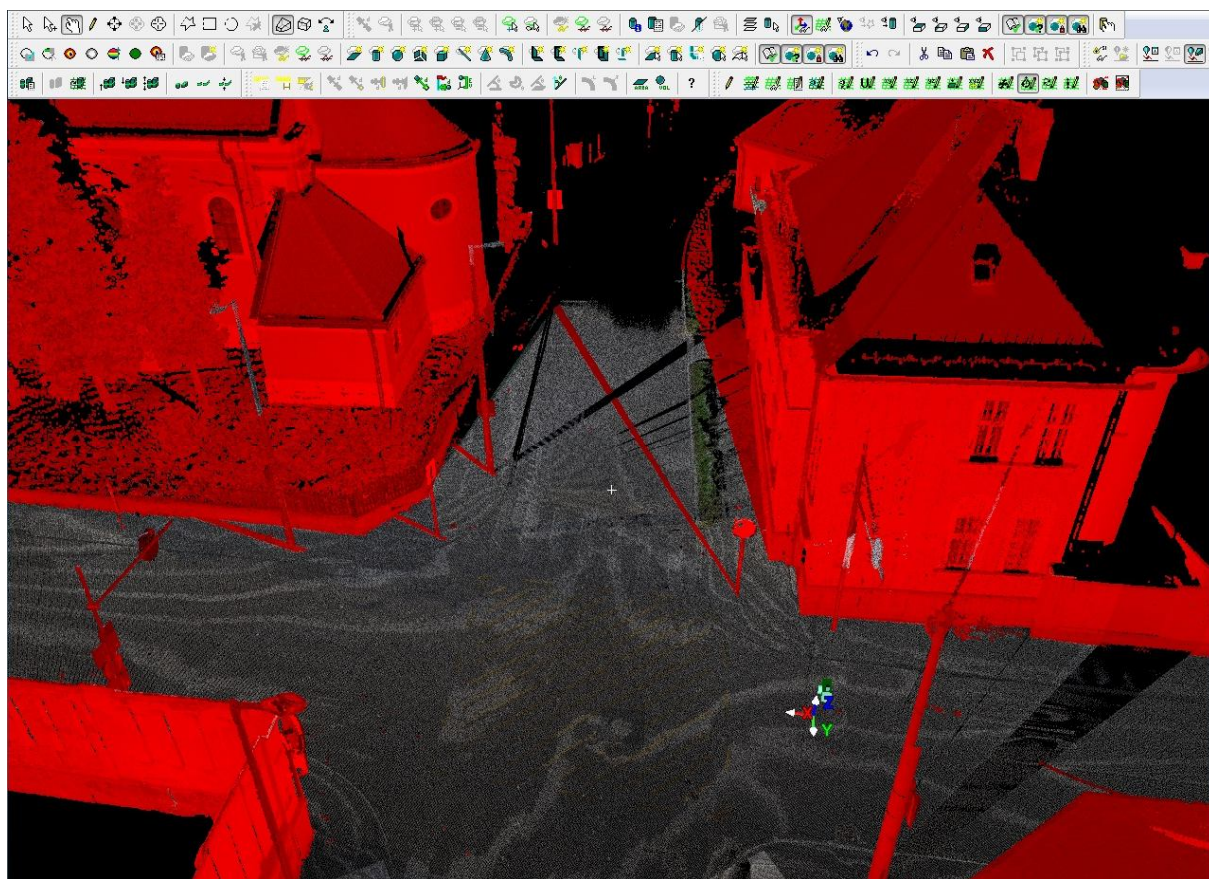
7. ábra Vezető nézőpontjának elhelyezése vízszintesen



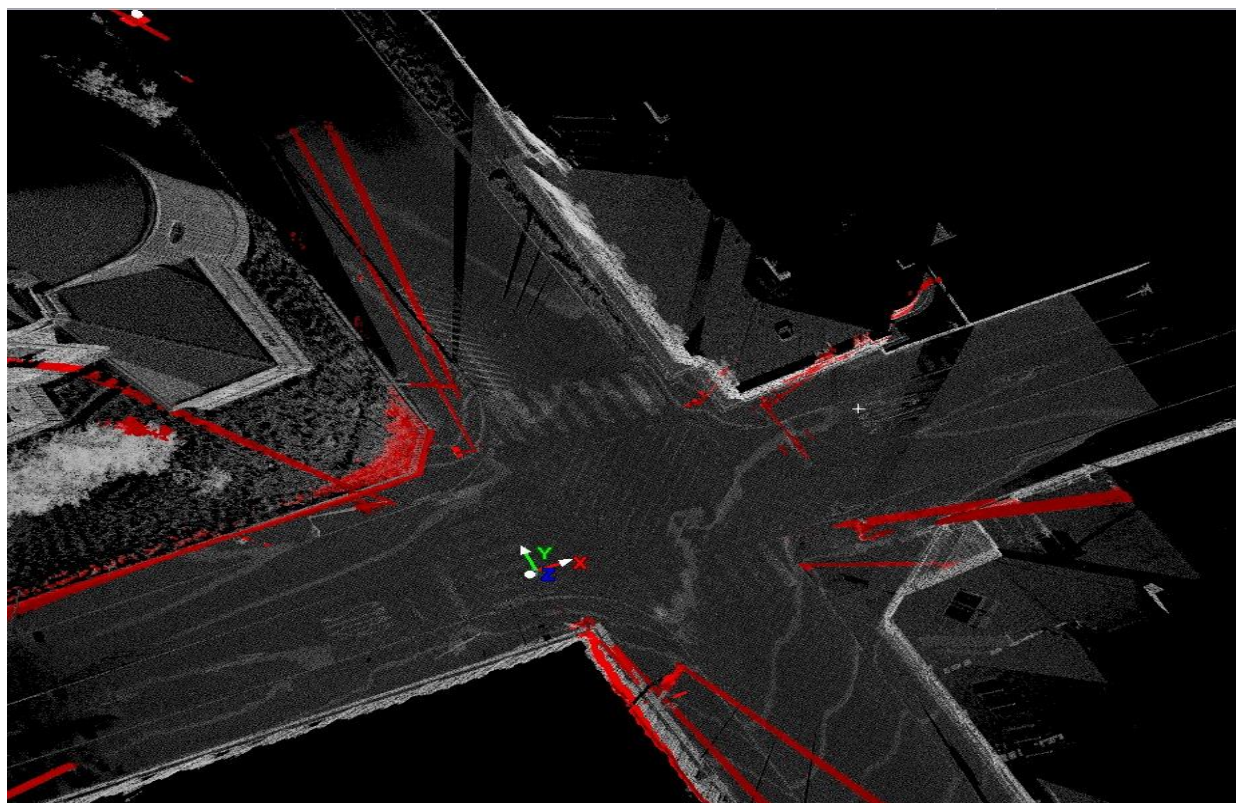
8. ábra Vezető nézőpontjának elhelyezése magasságilag



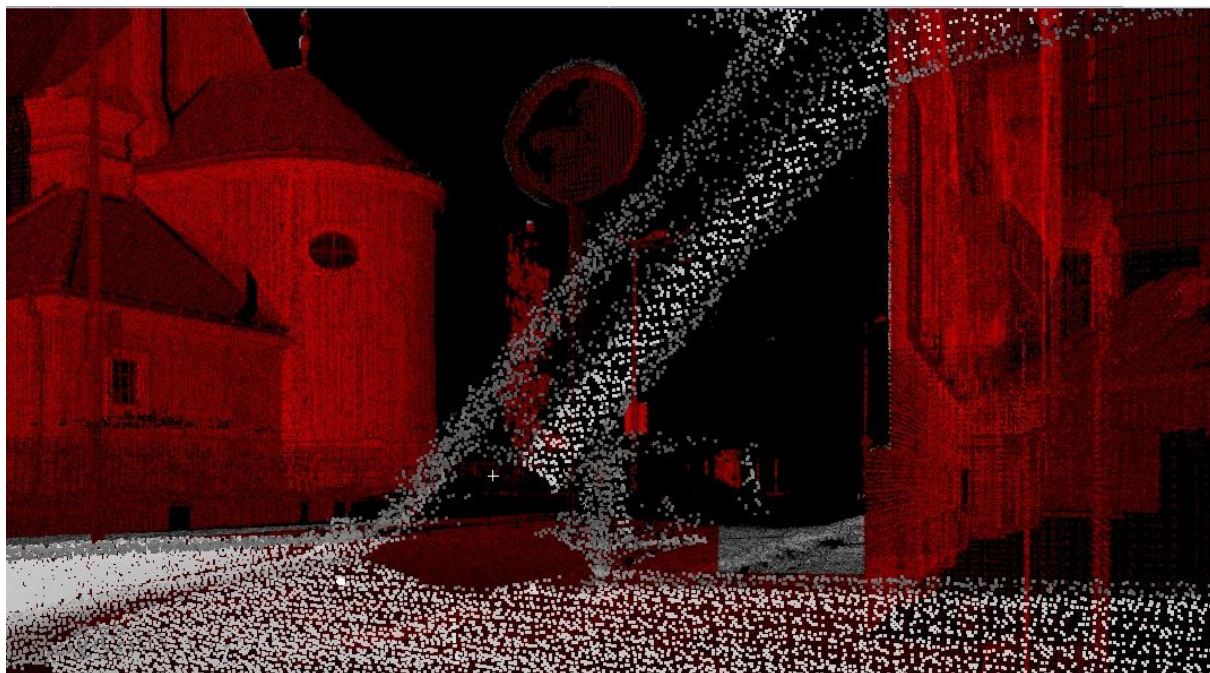
9. ábra Elindulási látómező ellenőrzése



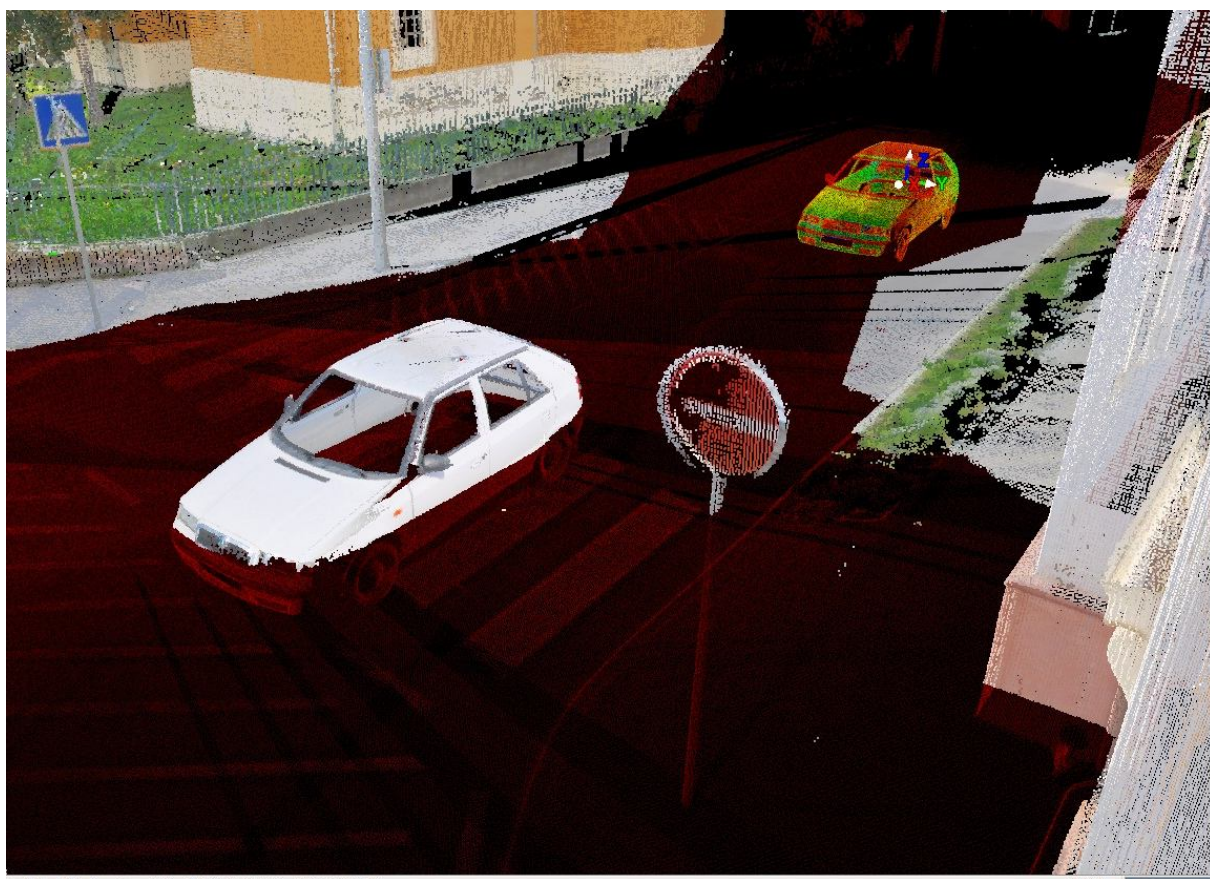
10. ábra Semmelweis utcáról érkező takaró objektumok és takart részek



11. ábra Botond utcáról érkező takart részek



12. ábra Vezető szemszögéből takaró A oszlop és visszapillantó tükör



13. ábra Megfelelő magasságban látható és teljesen takart jármű



14. ábra Semmelweis utcáról érkező gépjármű holttere



15. ábra Botond utcáról érkező gépjármű holttere