Magyari Zsófia

Közúti csomópont láthatóságának értékelése távérzékelési módszerekkel

Doktori értekezés

Témavezetők:

Dr. Koren Csaba, professzor emeritusz

Dr. habil. Borsos Attila, egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Győr

2023

Köszönetnyilvánítás

A személyes köszönetnyilvánítás mellett, a disszertáció részeként írásban is szeretnék köszöntetet mondani mindazoknak, akik segítették munkámat. Hálás vagyok témavezetőmnek, dr. Koren Csabának, hogy időt és energiát nem sajnálva, célommal azonosulva támogatott, bölcs gondolatokkal inspirált. Ugyancsak köszönöm másik témavezetőm, dr. Borsos Attila segítségét és hasznos javaslatait.

Köszönetemet fejezem ki dr. Makó Emese tanszékvezetőnek, aki támogatta és lehetővé tette számomra, hogy nyugodt környezetben végezhessem a munkámat és írhassam meg a dolgozatomat a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszékén.

Köszönöm az egyetemen dolgozó kollégák önzetlen támogatását, segítőkészségét. Hálámat fejezem ki mérésekben nyújtott segítségükért Hegyi Pálnak, dr. Németh Attilának, dr. Fischer Szabolcsnak és Mátyás Kevinnek, a technikai háttér biztosításért Horváth Zsoltnak és dr. Major Zoltánnak.

Köszönetet mondok Nyakó Norbertnek, programozó matematikus jóbarátomnak, aki érdeklődéssel követte a kutatási eredményeimet és algoritmusaival könnyítette meg az adatok feldolgozását.

Nem tudok elég hálás lenni a szintén rengeteg, de más típusú segítségért szeretett családomnak, akik nélkül ennek az útnak egyetlen szakaszát sem sikerült volna megtennem. Köszönet végtelen megértésükért és támogatásukért!

TARTALOMJEGYZÉK

ÖSSZEFOGLALÁS ... 3
SUMMARY ... 4
NYILATKOZAT ... 5
1 BEVEZETÉS ... 6
1.1 Előzmények, motiváció ... 7
1.2 Problémafeltárás ... 9
1.3 A kutatás célkitűzése ... 10
2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS ... 12
2.1 Térbeli láthatósággal foglalkozó tudományos cikkek ... 12
2.2 Előírásokban szereplő követelmények a közúti csomópontok és vasúti átjárók láthatóságra vonatkozóan ... 22
2.3 Közlekedési csomópontok felmérési módszerei láthatósági vizsgálatokhoz ... 39
2.4 Autonóm közlekedés ... 49
3 AKADÁLYOZOTT CSOMÓPONTOK LÁTHATÓSÁGI VIZSGÁLATÁNAK FEJLESZTÉSE 56
3.1 Láthatóságot befolyásoló tényezők áttekintése ... 56
3.2 Közúti csomópontok beláthatósága ... 58
3.3 Látási akadályok hatásainak jellemzése ... 61
3.4 Mérőszámok kialakítása ... 64
3.5 Kritikus kitakarások meghatározása ... 66
3.6 Következtetések ... 68
3.7 1.tézis ... 69
4 ESETTANULMÁNYOK KÖZLEKEDÉSI CSOMÓPONTOK LÁTHATÓSÁGI FELMÉRÉSÉRŐL ... 71
4.1 Alkalmazott távérzékelési mérőeszközök ... 71
4.2 Felmért helyszínek bemutatása ... 73
4.3 Csomópont láthatósági felmérése és a pontfelhő előkészítése ... 77
4.4 Takarási ábrák térbeli előállítási módszerek fejlesztése ... 78
4.5 Kitakarást okozó objektumok láthatósági jellemzése síkbeli mérőszámokkal ... 83
4.6 Térbeli láthatósági vizsgálat referencia sík segítségével ... 91
4.7 Összehasonlító elemzések referencia sík segítségével ... 97
4.8 2. tézis ... 106
5 LÁTHATÓSÁG ÉRTÉKELÉSE A REFERENCIA SÍKON ... 108
5.1 Személygépjármű láthatóságának vizsgálata ... 108
5.2 Láthatósági osztályok kialakítása ... 114
5.3 Összefoglalás ... 116
5.4 3. tézis ... 116
5.5 4. tézis ... 118
6 AUTONÓM JÁRMŰVEK SZÁMÁRA SZÜKSÉGES LÁTÓTÁVOLSÁGOK VIZSGÁLATA 120
6.1 LiDAR érzékelők képességeinek áttekintése ... 120
6.2 Szükséges láthatósági paraméterek számítása a közlekedési csomópontoknál ... 122
6.3 Összefoglalás ... 127
6.4 5. tézis ... 128
Irodalomjegyzék ... 131
Saját publikációk ... 138
Ábrajegyzék ... 140
Táblázatjegyzék ... 142
Mellékletek ... 143

ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori kutatásomban a szintbeni, jelzőtáblával szabályozott közúti csomópontok láthatósági vizsgálatával foglalkozom a közlekedésbiztonság javítása érdekében. A korszerű mérőeszközöknek és a számítástechnika fejlődésének köszönhetően lehetőség nyílt a láthatóságot jellemző takarási ábrák háromdimenziós elkészítésére.

A munkám elsődleges célja a csomóponti láthatósági vizsgálatok fejlesztése, hogy a feltárt összefüggések és következtetések segítségével a hazai közúti csomópontokban előforduló, megközelítőleg évi háromezer baleset számát megfelelő infrastruktúra átalakítással csökkenteni lehessen.

A kutatás első eredménye olyan mérőszámok megalkotása, amelyek segítségével az igen vagy nem helyett árnyaltabban jellemezhető a csomóponti láthatóság. A kialakított láthatósági mérőszámok segítségével (δ; α) olyan szögértékpárok mutathatók ki, melyek együttes teljesülése képes kritikus kitakarásokat okozni. A kutatás fontos eredményének tartom a referencia sík megfogalmazását és alkalmazását. Ennek előnyét a könnyű kezelhetőségben és algoritmizálhatóságában látom. A referencia sík láthatósági kiértékelés eredménye ugyan egy százalékos érték, ami mellett azonban ott van egy ábra is, ami megmutatja, hogy mit lát a járművezető. Ennek az ábrának a megfigyelésével már nagyon könnyű kiszúrni a láthatósági nehézséget.

A másik fontos eredmény a szelvényenkénti kiértékelésből származik, amely a segítségével számszerűsíthető a referencia síkon a nem látható részek eloszlása, illetve a gépjármű láthatóságának meghatározásához használt ablakok segítségével pontosan megmondható, hogy a referenciasík melyik szelvényénél keletkezik a kritikus kitakarás.

A csomópontok láthatósági besorolása céljából három osztályt határoztam meg. A besorolás alapja, hogy a referencia síkon mekkora arányban biztosított a kritikus hossz legalább 90%-os láthatósága.

Kimutattam, hogy az autonóm járművek számára 15%-kal kisebb szabadon tartandó látótávolság elegendő. Ez a megállapítás arra az esetre vonatkozik, amikor a jármű kizárólag a saját szenzorjaira támaszkodik.

A disszertáció megírása során a következő további kutatási kérdéseket fogalmaztam meg. A láthatósági vizsgálatok végrehajtására ajánlás készítése a minimálisan szükséges felmérési pontosság biztosítása érdekében. A gyakorlati hasznosítás érdekében fontosnak tartom a bemutatott elemzéseket programozással egyszerűsíteni. Módszertan kidolgozása a mozgásban lévő járművek kitakarására vonatkozóan és egy megfigyelési pont helyett több, a csomóponthoz közeledő jármű összesített látómezejének vizsgálatára és a láthatósági arányokon alapuló osztályok és a járművezetők valós helyzetekben hozott döntéseinek összehangolása.

SUMMARY

With the aim to improve road safety, this dissertation investigates the visibility of traffic sign-controlled road junctions. Thanks to modern measuring devices and advances in computer technology, it has become possible to create three-dimensional coverage images characterizing visibility.

The primary goal is to develop intersection visibility investigation tools, with which appropriate junction redesign and reconstruction can be proposed to reduce the approximately three thousand accidents occurring at road junctions annually.

The first result of the research is the indicators describing junction visibility in a more complex way instead of just a yes or no outcome. I introduced a new term, critical occlusion. With the help of visibility indicators (δ; α), it is possible to identify pairs of angle values, which in combination can cause critical occlusion. An important result of the research is the application of a reference plane. Its advantage is that it is easy to manage and algorithmize. The result of the visibility evaluation using a reference plane is a ratio describing occlusion, as well as a figure showing how much the driver can actually see. By observing this figure, it is easy to mark the spots with visibility issues.

Another important result is the evaluation based on section intervals, which can be used to quantify the distribution of occluded sections on the reference plane even without a human visual check. With the help of a sliding window used to determine the visibility of a passenger vehicle, it can be exactly detected at which section of the reference plane the critical occlusion occurs.

The visibility classification of junctions is divided into three classes. The classification is based on the proportion of 90% visibility of the critical length (length of a passenger vehicle) on the reference plane.

I showed that a 15% smaller sight distance is sufficient for autonomous vehicles. This finding applies to the case when the vehicle relies solely on its own sensors.

As a result of the dissertation further research directions are formulated. In relation to the measurement methods, the accuracy required for visibility analyses can be investigated with the comparison of different methods. For practical use, it is important to simplify the analyses presented by means of programming. Development of a methodology to investigate the view obstruction of moving vehicles as well as instead of one observation point to examine the combined field of view of several vehicles approaching the junction and the coordination of decisions made by drivers in real situations based on visibility ratios.

NYILATKOZAT

Alulírott **Magyari Zsófia** kijelentem, hogy a „Közúti csomópont láthatóságának értékelése távérzékelési módszerekkel” című doktori értekezést saját magam készítettem. A dolgozatban csak a feltüntetett forrásokat használtam fel. Szó szerinti, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva átvett más forrásokat, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Győr, 2023. 01. 31.

Magyari Zsófia

doktorjelölt

1 BEVEZETÉS

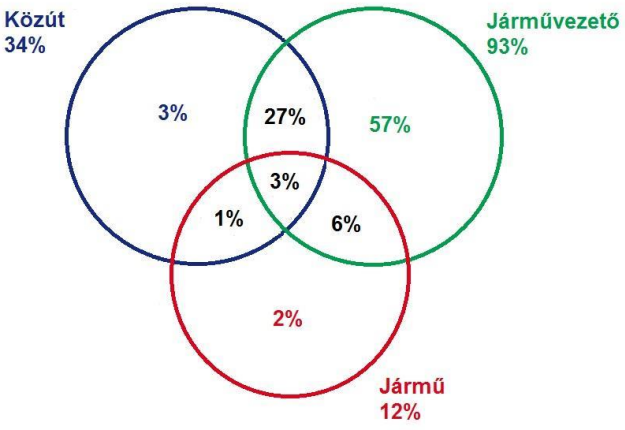
Doktori kutatásomban a szintbeni, jelzőtáblával szabályozott közúti csomópontok láthatóságvizsgálatával foglalkozom a közlekedésbiztonság javítása érdekében.

A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2012. és 2022. évek között 157 627 közlekedési baleset történt Magyarországon, melyben 208 593 ember sérült meg, és 5388 volt halálos kimenetelű. A baleseteknek 31 százaléka, 48 198 csomópontokban következett be. Az összes csomóponti baleset 61 százaléka, 29 333 történt jelzőtáblával szabályozott csomópontban, 38 333 sérülttel. A külföldi statisztikák alapján is jelentős számban történnek balesetek a csomópontokban. Összességében a csomópontok kis részét teszik ki a teljes úthálózatnak, de a balesetek több mint 50 százaléka itt koncentrálódik. [Antoniou et.al., 2011.]

Ha a baleset kimenetele szerint vizsgálódunk, akkor is igen kedvezőtlenek a statisztikák. A halálos kimenetelű közlekedési balesetek 23 százalékát közlekedési csomópontban történő vagy a csomópontokhoz kapcsolható balesetek teszik ki, míg sérüléses baleseteknél ez az arány 50 százalék. [Pagounis et.al., 2006.]

A fenti értékek alapján belátható, hogy a közúti csomópontok balesetek szempontjából kifejezetten kritikus helyszínek, melynek oka, hogy a csomópontokban a járművek vagy gyalogosok keresztezik egymás útvonalát. A járművezetőnek pillanatok alatt kell tájékozódnia a forgalmi szabályozásról és a közlekedésben résztvevő társainak helyzetéről, valamint megfelelő döntést hozni a továbbhaladásáról. A csomópont közvetlen környezete alakítható, azonban gyakori az olyan eset, ahol nehéz vagy szinte lehetetlen a csomópont szükséges mértékű beláthatóságát megteremteni, ami a járművezetőket kritikus szituációba kényszeríti.

A közlekedési baleseteket három fő tényező befolyásolja: az emberi figyelmetlenség vagy tévedés, a közúti infrastruktúra kialakítása és állapota vagy a jármű műszaki meghibásodása, illetve ezeknek a kombinációi. A baleseti mélyelemzés alapján [Alicandri, 2007.] úgy adódott, hogy a járművezető (a közlekedő ember) 93%-ban, az út (és a környezet) 34%-ban, a jármű pedig 12%-ban játszott valamilyen mértékben szerepet a balesetek kialakulásában.



1. ábra: Közúti balesetek okai rendszerszemléletű közelítés alapján [Alicandri, 2007.]

A láthatósági vizsgálatok az 1. ábrán szemléltetett két tényező kapcsolatán a közút és a járművezető oldaláról kívánnak javítani. Ha szabad a látótér, akkor könnyebb a helyzetfelismerés és jobb a döntéshozatal. Bár az 1. ábra szerint kizárólag a közút állapotából csak az esetek három százaléka eredt, a járművezető és az út együttes szerepvállalása 30 százalék volt.

A munkám célja, hogy a feltárt összefüggések és következtetések segítségével a közúti csomópontokban előforduló, megközelítőleg évi háromezer baleset számát az infrastruktúra megfelelő átalakításával csökkenteni lehessen.

1.1 Előzmények, motiváció

A Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék közlekedésbiztonsági kutatásokban szerzett eddigi tapasztalatai, a geodéziai és az infrastruktúra-építőmérnöki tanulmányaim együttese irányította az érdeklődésemet a közlekedésbiztonság felé.

A Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Karán elsajátított geodéziai és térinformatikai ismeretekre támaszkodva tudtam elvégezni a kutatáshoz szükséges felméréseket és kiértékeléseket. Az alapképzés során nagy hangsúlyt fektettek a távérzékelési módszerek, többek között a fotogrammetria és a lézerszkenner oktatására. Ennek köszönhetően vonzott az olyan kutatási tevékenység, ahol lehetőséget kapok megismerni a lézerszkennelést és a pontfelhő kezelést.

Az előtanulmányaimnak köszönhetően mérnöki, de kellőképpen eltérő gondolkodásmóddal érkeztem a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék kollégái közé. Az infrastruktúra-építőmérnöki mesterképzés során sikerült ismereteimet felzárkóztatni az építőmérnöki alapismeretek terén, valamint elmélyedni az úthálózatok és a közlekedésbiztonsági témakörökben. Az úthálózatokkal a diplomamunkám keretei közt térinformatikai hálózatelemzéseket és forgalommodellezési módszereket alkalmaztam. A dolgozat a hálózati hiányosságok és hiányzó útkapcsolatok feltárási lehetőségeiről szól. Munkámat nagy mértékben segítette külső konzulensem, dr. Somfai András, aki szakmai ismereteken túl az „út" szerepének társadalmi jelentőségeire is felhívta a figyelmem.

Szintén a mesterképzés évei alatt kezdtem belefolyni a tanszéken folyó közlekedésbiztonsági kutatásokba. A jelentősebb eredményeket összefoglalóan mutatja be a dr. Koren Csaba által szerkesztett kötet, a Közúti infrastruktúra biztonsága (2012) és a Biztonságosabb közúti infrastruktúra (2015) című könyvek a tanszéken folyó kutatásokról.

Közlekedésbiztonsági témakörű saját kutatás megkezdésére konzulenseim mellett kollégáim, dr. Kosztolányi-Iván Gabriella Útkategóriák megkülönböztetésének vizsgálata a járművezetők által látott útkialakítás alapján (2015) és dr. Miletics Dániel Külterületi csomóponti többletsávok biztonsági hatásának vizsgálata (2016) támájú sikeres fokozatszerzése motivált.

Maga az alapötlet, hogy közlekedésbiztonsági vizsgálatok lézerszkennerrel hatékonyan vizsgálhatók korábbi publikációkban már megjelent. Ezek elsősorban a lézerszkenneres technológia sokoldalú felhasználhatóságát igyekeztek előtérbe helyezni és inkább geoinformatikai szemszögből íródtak. Ezen publikációk közül jelentős szerepet játszott a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kutatói által írt Közlekedési csomópont beláthatósági vizsgálata földi lézerszkenneléssel című tanulmány. [Kibédy et.al., 2007.]

A témakört kifejezetten közlekedésbiztonsági szempontból, gyakorlati helyzetekben Mester Márton infrastruktúra-építőmérnök hallgató kezdte el kidolgozni diplomamunka keretében, melyet a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési tanszékén írt. [Mester, 2012.] Az általa készített gyakorlati esettanulmányok alapján egyértelművé vált, hogy a lézerszkenner adta

lehetőségeket érdemes tovább kutatni és olyan pontfelhőre épülő vizsgálati eljárást kidolgozni, amely a gyakorlatban jól használható.

1.2 Problémafeltárás

A korszerű mérőeszközök és a számítástechnikai fejlődésnek köszönhetően lehetőség nyílt a láthatóságot jellemző takarási ábrák háromdimenziós elkészítésére, aminek a vizsgálatát jelenleg csak vízszintes értelmű terveken vagy térképlapokon követelik meg, annak ellenére, hogy a látási akadályok elemzése térbeli probléma.

A Budapest Közút Zrt. 2013-ban kezdte meg a KARESZ (Közúti Adatgyűjtő Rendszer) fejlesztését, amely mobil lézerszkenner (MLS) felmérésen alapul. Jelentősége, hogy rendelkezésre áll a fővárosunk összes útjának pontos és részletes felmérése, amely a közútkezelő tulajdonában van. A mobil lézerszkennerek adatgyűjtése mellett fotogrammetriai módszerekkel lehet olyan adatokat tömegesen előállítani, amelyek megfelelő pontosságot biztosítanak a láthatósági vizsgálatokhoz. A digitális fényképezés és a pilóta nélküli légi járművek (UAV) technológiai fejlődése pozitív hatással van mind a földi, mind a légi fotogrammetriai módszerekre. Bár a kamerával felszerelt drónok (UAV) alkalmasak felmérések lebonyolítására, nehézséget okoznak a jelenlegi repülési korlátozások, valamint az akkumulátor gyors lemerülése. A földi fotogrammetriai módszerek közül említést érdemel egy GeoMeter PhoDar nevű eszköz, amely mobileszközökre szerelve nagy felbontású képek sokaságát produkálja. A feldolgozott eredmények egy olyan pontfelhőt adnak, amelynek pontossága nem éri el a lézerszkennerét, de közel van hozzá, és alkalmas a láthatósági tesztekre. Hibrid megoldásként létezik olyan UAV, amelynek kamerája és LiDAR érzékelője van. Ez ötvözi a könnyű mozgás és a pontos mérés előnyeit.

A fenti gyűjteményből egyértelműen leszűrhető, hogy a térbeli adatgyűjtésre rengeteg hatékony eszköz áll rendelkezésre, azonban az adatok feldolgozása eszköz- és időigényes folyamat, ami miatt nehéz az átállás a hagyományos kétdimenziós vizsgálatról.

Jelenleg még nincs elfogadott térbeli kiértékelési folyamat, de tudományos publikációkban egyre több módszert mutatnak be.

A nehézség, hogy az előírásokban alkalmazott látótávolságok meghatározása több évtizede kiszámított értékeken alapszik és az értékek a biztonság felé jelentősen el van tolva.

Gyakorlatban ezek az értékek egyrészt túlzóak, másrészt sok esetben nehéz biztosítani a szükséges látóteret, amelynek következménye, hogy értelmetlen sebességcsökkentéseket írnak elő.

Továbbá a vizsgálat eredménye igen vagy nem, holott a kérdés sokkal árnyaltabb. Például egy kerítés lehet közel átlátszó vagy tömör, azaz közlekedés szempontjából átlátható, vagy okozhat teljes kitakarást.

Az előírások elsősorban gépjárművekre koncentrálnak, bár meg van határozva, hogy kerékpáros átvezetés esetén hogyan kell vizsgálni a látómezőt, de a gyalogosok, kerékpárosok és a sérülékeny úthasználók látótereit nem veszik figyelembe.

A jelenlegi szabályozások csak geometrián alapszanak, és figyelmen kívül hagyják a láthatóságot befolyásoló többi tényezőt: a járművek holttereit, a forgalom nagyságát, valamint a burkolat állapotát.

Nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a 10-20 éven belül várható az autonóm járművek elterjedése, amelyek számára szintén fontos a láthatóság biztosítása, de ez jelentősen eltérhet az emberi igényektől.

Az önvezető járművek fejlesztésére két irány létezik. Az első a teljes önállóság megvalósítása, azaz bármilyen környezeti információ és infrastrukturális segítség nélkül a járművek képesek legyenek megbízhatóan navigálni. A másik irány figyelembe veszi és épít a „connected" kommunikációs technológiák által biztosított adatokra. Jelenleg az első irány az elterjedtebb, amely esetben fontos a kereszteződés láthatóságának biztosítása.

1.3 A kutatás célkitűzése

A közlekedési baleseteket három fő tényező befolyásolja: az emberi figyelmetlenség vagy tévedés, a közúti infrastruktúra és a jármű műszaki meghibásodása, illetve ezek kombinációi. Az első kettő tényező, az emberi figyelem és a közúti infrastruktúra kapcsolatát tervezem megvizsgálni láthatósági szempontból a közúti csomópontokban, ahol a balesetek jelentős része történik.

A közlekedésben résztvevők figyelmét számtalan tényező befolyásolja. Célom a beláthatóságot akadályozó tényezők vizsgálata, hatásaik csökkentése.

Részcélok a láthatósági problémák feltárásához:

- A láthatóságot befolyásoló tényezők feltárása, megismerése, figyelembevételi lehetőségek kidolgozása és rendszerezése.
- A közlekedési csomópontok átfogó vizsgálatához szükséges adatgyűjtési tevékenység meghatározása.
- Olyan modell készítése, amely a kitakarási ábrák készítése mellett alkalmas a különböző közlekedési szituációk kiértékelésére is.

Továbbá vizsgálni és értékelni tervezem a különböző felmérésekből származó adatok alkalmazhatóságát térbeli vizsgálatokra.

Végül célom a fejlesztések alatt lévő autonóm járműveken alkalmazott érzékelők vizsgálata a csomópontok beláthatósági szempontjából, illetve lehetséges a felméréseik alapján utófeldolgozással láthatóságot vizsgálni.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az irodalmi áttekintést a tudományos cikkekkel kezdem, majd áttérek a hazai és külföldi tervezési előírásokban szereplő követelményekre és azok összehasonlítására.

2.1 Térbeli láthatósággal foglalkozó tudományos cikkek

A közlekedési láthatósággal kapcsolatban már számtalan tudományos cikk jelenik meg, melyek különböző szempontokat vesznek figyelembe. Összeségében elmondható, hogy többnyire három problémakört érintenek a kutatások.

Az első a vizsgált szituációra vonatkozó úttervezési előírások ismertetése és matematikai modellalkotás továbbfejlesztett láthatósági követelményekre vonatkozóan. A második témakör egy-egy konkrét közlekedési szituáció vagy csomópont, baleseti gócpont részletes elemzése. A harmadik kategória az eszköz szemléletű tanulmányok, amikor maga a felmérés vagy kiértékelés folyamata a vizsgálat célja.

Ez a három témakör gyakran kombinálva jelenik meg, például egy feltevés gyakorlati mérésekkel történő igazolására vagy egy mérőeszköz ismertetése egy láthatósági nehézségekkel rendelkező helyszín példáján keresztül.

2.1.1 Látótávolságok vizsgálatának nehézségei

A láthatósági vizsgálatok pontos és részletgazdag felméréseket igényelnek, hogy el lehessen dönteni a megfelelő beavatkozást. Ez lehet az akadály eltüntetése, a közlekedési szabályozás megváltoztatása vagy sebességkorlátozás. A hagyományos felmérések elkészítése időigényes és szükséges hozzá személyzet és labor. [Jung et.al. 2018.]

Pagounis et al. 2006-os cikkében, amelyben lézerszkennert használtak egy közlekedési baleseti helyszín felmérésére, megfogalmazott egy fontos kritikát a jelenlegi láthatósági követelményekkel kapcsolatban. Ahogyan a gyakorlati felmérések, úgy az erre vonatkozó előírások is kizárólag vízszintes értelműek. A mérőállomásos felmérésekhez szakember kell, és a felmérés zavarja a közlekedést, a GNSS vevő pedig hasznos eszköz ugyan, de csak olyan helyeken működik, ahol biztosított a szabad égbolt.

Manapság egyre több cég kezd alkalmazni mobil lézerszkennert (MLS) útállapot felmérésekhez, ami gazdag háromdimenziós modellt állít elő, azaz irodai környezetben, bárhol elhelyezhető egy vizsgálati pont. [Jung et.al. 2018.]

A látótávolság értelmezése egy csomópontban az elsőbbséggel rendelkező út mentén történik, azaz nem egyezik azzal a távolsággal, amit a mellékútról, az előírt látómező szélei és a vizsgálati pont közötti közvetlen vonal köt össze. Ennek az eltérésnek a jelentősebb hatása egyrészt a közeledési látómezőt, másrészt a körforgalmat érinti.

Körforgalomban a távolságot kétféleképpen lehet mérni a két jármű között. Az egyik a körvonalú pálya mentén, a másik a közvetlen távolság. Az első mérés feltételez egy konfliktuspontot, a második a látótávolságot mutatja a két jármű között. Ezek a távolságok a körforgalomban eltérnek egymástól. A tanulmány célja, hogy megmutassa, hogy több esetben a látótávolság határa közelebb van, mint a konfliktuspont. [Mussone, 2012.]

2.1.2 A térbeli láthatósági vizsgálatok céljai

A korábbi évek eszközszemléletű tanulmányainak fő célkitűzése, hogy bizonyítsák a pontfelhős modellek alkalmazhatóságát és bemutassák a térbeli vizsgálatok előnyeit. Pagounis et.al. 2006-os cikkében a lézerszkennelés alkalmazhatóságát vizsgálja baleseti rekonstrukció céljára.

Az Antoniou et.al. 2011 tanulmányában azt kérdést tette fel, hogy a lézerszkenneléses technológia ajánlható-e a közlekedésbiztonsági felmérések hatékony értékelésének támogatására, hiszen a háromdimenziós csomópontfelmérés és pontos modellek létrehozása által térbeli szituációk tanulmányozása válik lehetővé, ami segít a kutatónak és a döntéshozóknak csomóponti fejlesztési sémákat létrehozni.

Számszerűsíthető értékelési eljárás kidolgozásával Jung et.al. 2018 tanulmányában találkozhatunk, aminek célja közlekedésbiztonsági elemzési eljárást kifejleszteni a járművezetők látótávolságának elemzésére a nagy felbontású LiDAR adatok alapján. A kutatás törekszik arra, hogy feltárja a 3D elemzések megvalósíthatóságát, hasznosságát és kihívásait következő szempontok szerint:

- Keretrendszer fejlesztése a 3D lézerszkennelési adatok felhasználására a látótávolságok értékelésében.
- Validálni a keretrendszert a hagyományos technikáival való összehasonlítással.
- Láthatósági változások becslése a jármű mozgása során, például fordulás esetén.
- A különböző járművek és közlekedési eszközök alapján figyelembe venni különbségeket a láthatóságban.
- Olyan 3D nézetablakok készítése, amelyek segítik a felhasználókat a láthatóságot akadályozó objektumok kezelésében. [Jung et.al. 2018.]

2.1.3 Térbeli felmérések módszerei

A Pagounis et.al. 2006 tanulmányban használt műszer a Leica HDS2500 földi lézerszkenner, aminek hatótávolsága 150 méter és 6 mm pontos 50 méternél, látószöge még korlátozott volt: horizontális és vertikális értelemben is 40 fok, ezért több álláspontból kellett elkészíteni a felmérést, ami jelentősen megnövelte a felmérés és a feldolgozás idejét. A vizsgált szituáció egy háromágú csomópont volt.

A teljes felmérés nyolc óra alatt történt meg és 25 álláspontból készítették el a felvételeket. Az út mindkét oldalán volt álláspont a teljes lefedettség érdekében. Speciális, a lézerszkennerhez tartozó jeltárcsákat használtak a nagyobb regisztrációs pontosság érdekében. Mindegyik jel koordinátája meg lett határozva Leica TCR307-es mérőállomással. [Pagounis et.al. 2006.]

Antoniou et.al. 2011 cikkben alkalmazott lézerszkenner már horizontális és vertikális tengelyek körül képes a teljes elfordulásra és a hatótávolság is növekedett, aminek következtében jelentősen csökkent a felvételi helyszínek száma és ezzel együtt a felmérési idő. A vizsgálat tárgya egy bel- és egy külterületi csomópont felmérése volt. A belterületi helyszín esetén ismert volt a csökkentett látótávolság problémája. Látási akadályt jelentett az épületek, járművek és növények takarása, valamint a jelentős jármű forgalom. Továbbá a hibás útburkolat is a közlekedésbiztonsági kockázatokat növeli. Kétféle eszközzel történt a felmérés: az egyik eszköz a Leica Scanstation 2 típusú lézerszkenner (TLS), a másik egy képalkotó mérőállomás volt.

A Topcon IS-203 egy olyan geodéziai célú mérőállomás, amelybe motor van építve, és a kijelölt területet adott sűrűségben képes végigpásztázni, azaz adott irányokban

távolságméréseket végezni és a területről fényképet készíteni. A távolságok és térbeli irányok segítségével a fénykép rasztereihez koordinátákat rendel, ezáltal egy felületmodellt képes előállítani. A felmérés koordináta rendszere a TLS által létrehozott rendszer. A csomópontok teljes felméréséhez három-három álláspont volt szükséges belterületen és kettő külterületen. A lézerszkenner távmérési tartománya 5–350 méter közötti és 6 mm-es pontosságú volt. A képalkotó felmérés pontossága 5–30 cm közötti volt. [Antoniou et.al. 2011.]

Bár a Jung et.al. 2018 féle tanulmány felmérés szempontjából már a mobil lézerszkennerekre épít, az eljárásuk igazolására mégis egy földi lézerszkennerrel bemért csomópont pontfelhőjén tesztelték. Egy négyágú, jelzőlámpával szabályozott csomópontot mértek fel. A felmérés 12 álláspontból történt 360°-os rögzítéssel, aminek a felbontása 0,05° és egy Trimble R8 GNSS vevő segítségével határozták meg az álláspontok koordinátáit. Az álláspontok pontfelhőit jeltárcsák segítségével illesztették össze, amelyeket mérőállomással bemértek. A pontfelhők összeillesztése Leica Cyclone szoftverben történt. A pontfelhőt 2 cm-es pontsűrűségre csökkentették a számítási idők csökkentése céljából.

2.1.4 Térbeli modellek előállítása

A lézerszkenneres felmérés végterméke a pontfelhő, ami térbeli pontok sokasága a környezetet alkotó felületekről. A pontoknak ugyan nincs térbeli kiterjedésük, azonban olyan közel helyezkednek el egymáshoz viszonyítva, hogy képesek vagyunk elkülöníteni és azonosítani a terepi objektumokat a pontok alapján. A felismerhetőségnek köszönhetően egy háromdimenziós modellként tekinthetjük a pontfelhőt, amiben utólag is bármilyen mérést el lehet végezni.

Antoniou et. al. 2011-es cikkében megfogalmazza, hogy a térbeli modellt nem csak pontfelhőként lehet értelmezni, hanem felszínhálóként, azaz mesh objektumként, aminek az előállítására felhasználható a pontfelhő.

A felszínháló mellett másik lehetséges modellezési eljárás a voxelek alkalmazása. A térbeli modell kockákból épül fel. Minél kisebb kockákat használunk, annál jobban közelítjük meg az eredeti alakot és részletgazdagabb a modell. A modell felbontásának növelése viszont jelentősen megnöveli a számítási igényeket. Használatának előnye, hogy az építőelemekkel valóban ki lehet tölteni a teret, és a modellt fizikai tulajdonságokkal is fel lehet ruházni. A voxel

a „volume pixel” szóból keletkezett és folyamatosan tölti ki a teret, ahogy a fényképek képkockái (pixelei) a síkot. Az áttekintett szakirodalmak alapján a láthatósági vizsgálatok szempontjából sem a mesh, sem a voxel modellek elkészítése nem volt szükséges, a pontfelhő önmagában alkalmasnak bizonyult a vizsgálatokra.

A technológia elterjedésének elején a LiDAR felmérések feldolgozása hosszú folyamat volt, ez mára már jelentősen csökkent a számítástechnika fejlődésének és az egyre nagyobb fokú automatizálásnak köszönhetően, ami kiterjed az automatikus regisztrációra, azaz pontfelhők összeillesztésére és a zajszűrésre.

Pagounis et.al. 2006 tanulmányában készített modell regisztrált pontfelhőjének átlagos pontossága 4 mm körül van. A feldolgozás során a pontfelhő zajosságát el kellett tüntetni, amit a mozgó járművek okoztak. A teljes feldolgozás a 3D-s modell előállításához négy napot vett igénybe. A pontok színei (intenzitás értékei) információt szolgáltattak az anyagról, ez az információ nagyon hasznos geometriai formák felismerésében az úton (pl. forgalmi sávok). Ellenőrzésképpen a távolságok, amiket a pontfelhőben mértek, egy-két centiméteres különbséget mutattak a mérőállomásos felméréstől, ami elfogadható ebben az alkalmazásban. Az eredményül kapott pontfelhő 3D-os modellként használható.

A pontfelhő számszerű kiértékelésének lépéseihez a Jung et.al. 2018 tanulmány egy korábbi munkájukban bemutatott eljárást alkalmazzák. [Olsen et.al., 2015.] A folyamat a pontfelhőből a vizsgálandó terület kimetszésével kezdődik, majd külön válogatják a talajmenti pontokat egy magassági hisztogram segítségével és meghatározzák az átlagos terepmagasságot. Ennek a magasságnak a segítségével kiszámítható a járművezető szemének magassága közel sík terepet feltételezve. Szemmagasságban létrehoznak egy sík hálót, amire rávetítik a korábbi nem tereppontokat. A rácsháló sűrűsége meghatározza a szükséges számítási időket és az eredmény részletességét. A harmadik lépésben látható a „tiszta” rácsháló pontok magassági szűrése. Minden pontra meghatároznak egy látó vonalat, és annak magassági szögét. Ha a rácsra vetített pont eredeti magassága plusz a rácsok távolságának a fele meghaladja a látó vonal adott ponthoz tartozó magasságát, akkor a látótávolság is takart. Ha nem, akkor valóban látható a vizsgált rácspont. Az utolsó lépés az összehasonlítás a hagyományos módszerrel.

A négyágú csomópontoknak mind a négy ágára elvégezték az elemzést. A jobb szélső sávban elhelyezett személygépjármű-vezető látómezőjét mindegyik esetben 180 foknak vették fel. [Jung et.al. 2018.]

2.1.5 Szakirodalmi eredmények

Pagounis et.al. 2006 tanulmányában az előírások által definiált láthatósági vizsgálatok nem történtek meg, de számos, a láthatóságot befolyásoló tényezőt értékelt. A nagy mennyiségű adat felhasználható volt a változó útviszonyok felismerésére és osztályozására, valamint eltérő környezeti körülmények hatásainak értékelésére.

Teszt céljából csak néhány útviszony-besorolást vizsgáltak, mivel ezekre általában szükség van balesetek kivizsgálása céljából. Ezek egy része nem annyira magára az útra vonatkozik, mint inkább a környezetre. A fényviszonyokat három kategóriába sorolják: nappali, szürkületi és éjszakai. Az útfelület állapotát négy kategóriába sorolják: száraz, nedves, havas vagy jeges és egyéb (pl. olajszennyezés).

Az 1. táblázatban ezeket a paramétereket együttesen vizsgálják az összes változatra készített szkennelt pontfelhőben. Minden paraméter kap egy minőségi mutatót. A fokozat jelzi, hogy mennyire jól látható a pontfelhőben, a legjobb az 1. fokozat, megfelelően látható a 2. fokozat, vagy korlátozott láthatóságot mutat a 3. fokozat különböző fény- és útfelületi körülmények között. Az 1. táblázatban bemutatott eredmények 5–10 mm-es szkennelési sűrűségre vonatkoznak.

1. táblázat: Fény- és útviszonyok hatása [Pagounis et.al. 2006.]

Szempont	Fényviszony			Útállapot		
	Nappali	Szürkületi	Éjszakai	Száraz	Nedves	Egyéb
Útpálya vonalvezetése	1	1	1	1	1	1
Útpálya burkolata	1	1	1	1	3	2
Forgalomirányító jelzések	1	1	1	1	2	1
További infrastruktúra elemek	1	1	1	1	1	1

A fenti paramétereket a lézerszkennertől különböző távolságokban is megvizsgálták. A 2.táblázat ugyanazokat a paramétereket mutatja be a 20–30 m, 50–60 m, 100–120 m távolságban.

2. táblázat: Távolságok hatása [Pagounis et.al. 2006.]

Szempont	Távolság a lézer szkennertől		
	20–30 m	50–60 m	100–120 m
Útpálya vonalvezetése	1	1	1
Útpálya burkolata	1	3	3
Forgalomirányító jelzések	1	1	2
További infrastruktúra elemek	1	1	2

A mintavételi intervallum kevesebb volt, mint 1 cm és a fényviszonyok nem voltak hatással a paraméterek láthatóságára. A burkolati vagy felszíni viszonyok hatása azonban kritikusabb a távolságok változására, mivel 60 m feletti távolságok és nedves körülmények között a csúszáspontokat (azaz az úttest felszíni anyagait) nem lehetett megkülönböztetni a pontfelhőkben.

Végül ugyanazon paraméterek láthatóságát értékelték a változó lézeres pásztázásokon belül a szkennertől 50 m távolságban. A 3. táblázat mutatja be a mintavételi távolság minőségi hatását a napfény / sötétség és száraz / nedves útfelület viszonyaira. Amint a 3. táblázat javasolja, ha a mintavételi távolság meghaladja a 7 cm-t, akkor a megvitatott paraméterek gyengék lesznek és befolyásolhatják a későbbi méréseket. Az állapotosztályozási adatokra vonatkozó számos kísérletben bebizonyosodott, hogy a földi lézeres letapogatás képes megbízhatóan működni napfényben és sötétben is, miközben a nedves körülmények befolyásolhatják az útfelületen végzett méréseket. [Pagounis et.al. 2006.]

3. táblázat: Mintavételezés sűrűsége és a környezeti viszonyok hatása [Pagounis et.al. 2006.]

Szempont	Mintavételi gyakoriság											
	5–10 mm				10–25 mm				50–70 mm			
	Nappali		Éjszakai		Nappali		Éjszakai		Nappali		Éjszakai	
	Sz.	N.	Sz.	N.	Sz.	N.	Sz.	N.	Sz.	N.	Sz.	N.
Útpálya vonalvezetése	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Útpálya burkolata	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3
Forgalomirányító jelzések	1	1	1	2	1	2	2	3	2	3	2	3
További infrastruktúra elemek	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

Sz.: száraz útburkolat

N.: nedves útburkolat

Pagounis et.al. 2006 tanulmányában megfogalmazott megállapítások a lézerszkenneres felmérésekre vonatkozóan:

1. A lézerszkenneres felmérés biztonságos eljárás, nem kell a prizmát a bemérendő pontra helyezni. Sávlezárásokhoz és más közlekedési szabályozáshoz képest figyelemre méltó költségmegtakarítást eredményez a helyszín felmérése során. A felmérés gyors, minimális forgalomzavarással jár.
2. A pontfelhő alapján vonalrajz készíthető, amelyen elhelyezhetők a baleset következményei, mint például a járművek végső helye, a becsült sebességek és további megállapítások jeleníthetők meg arra vonatkozóan, hogyan keletkezhetett a baleset. A modellben egyértelműen mérhetők a baleset jelei, mint például a járművek elhelyezkedése, a sérültek helyei, valamint a térbeli láthatóság könnyen detektálható. Mindazonáltal a lézerszkenner pontfelhő előnye az átfogóbb 3D modell és animációs szemléltető megoldások, amelyek speciális szoftverrel generálhatók. Ezek a megoldások használhatók egy baleseti esettanulmánynál, de közvetlenül nem használhatók egy bírósági tárgyalóteremben.
3. A baleseti helyszínek szkennelésével nagy mennyiségű adatot rögzítenek, amelyek felhasználhatók változó útviszonyok felismerésére és osztályozására, valamint eltérő környezeti körülmények hatásainak értékelésére. Az útállapot rögzítése azért fontos, mert lehet, hogy az út vagy bármi, ami ehhez kapcsolódik, a baleset idején fennálló körülményekhez képest megváltoztak.
4. A lézerszkenner vagy a fotogrammetriai úton előállított pontfelhők segítségével szintvonalak készíthetők, amely alapján elvégezhető a magassági állapot rögzítése a helyszíneken, mint pl. szegélyek terelő/járdaszigetek esetén.
5. A pontos felmérés megmutatja a vízszintes és magassági vonalvezetést. A sebességbecsléshez szükséges az ívek és csúszás jelek felismerése és az útburkolat anyagainak meghatározása.
6. Fontos a forgalomszabályozó eszközök, mint például burkolati jelek, táblák helyének pontos ismerete. Ezek a mérések és adatok mind részét képezik a baleseti adatok előkészítésének jogi vagy speciális vizsgálati célokra.

A pontfelhős modell segítségével végzett térbeli láthatósági elemzések fontosabb eredményei a Jung et.al. 2018 tanulmány alapján:

1. A javasolt eljárás minden esetben sokkal részletesebb eredményt adott, mint a hagyományos eljárás, ami sokkal kevesebb diszkrét mérés alapján történik, és nem veszi figyelembe az objektumok 3D-os kiterjedését.
2. A hagyományos és LiDAR mérések közötti átfedések 51,2% és 68,2% között váltakoztak.
3. A pontfelhő lehetőséget ad számtalan szituáció elemzésére, többek között a különböző járművek szemmagasságainak vizsgálatára. A szemmagasságok változtatása 1 és 2,5 méter között fél méterenként érdekes eredményt mutatott. Növekedett az átfedés 1 és 2 méter között, viszont az utolsó esetben élesen csökkent, ami valószínűleg a néhány magas tárgynak és a fák lombozatának köszönhető.
4. Az utolsó vizsgálat a rácsháló optimális méretének a megválasztását elemzi. Az egy deciméteresnél kisebb méret a szerző szerint nem eredményez annyival nagyobb pontosságot a végeredményben, mint amivel megnöveli a számítási időtartamot.

Nemrégiben az Oregoni Közlekedési Minisztérium (ODOT) befejezte a mobil LiDAR felméréseket az összes állami autópályán és évente frissíti a kiemelt területeket. [Mallela et.al 2019.] Az ODOT ezeket az adatokat felhasználta a kézi mérések kiváltására a vidéki autóutak csomóponti láthatóságvizsgálatára, ahol sebességhatár emeléseket vezettek be. A módszer 250 ezer USD megtakarítást eredményezett a hagyományos technikához képest. [Jung et.al. 2018.]

2.1.6 Összefoglalás

Mindegyik tanulmányban fokozott szerepet kap a közlekedésbiztonsági szempont és a láthatóság vizsgálatának síkbeli korlátja. Ma már sokféle térbeli felmérési módszer áll rendelkezésre, ami jól hasznosítható a láthatósági elemzések alapjaként. A 4. táblázat foglalja össze a feldolgozott cikkeket.

Az első két cikk, Pagounis et.al. (2006) és Antoniou et.al. (2011) célja még inkább a pontfelhő technológiában rejlő lehetőségek bemutatása volt. A kiértékelések elvégzéséhez azonban mindkét esetben visszatértek a mérnöki gyakorlatban bevált síkbeli ábrázolásokhoz és keresztmetszetek készítéséhez. Szintén mindkét cikk elkerüli a konkrét láthatósági vizsgálat

eredményének számszerű bemutatását, de a pontfelhő vagy az abból generált felszínhálók bemutatásával igazolja a vizsgálatok többletértékét. A negyedik cikk értéke ennek a hiányosságnak a megoldásában rejlik. Az első cikk jelentősebb hozzáadott értéke a felmérési tapasztalatok alapján osztályozott környezeti viszonyok hatása a pontfelhőre.

4. táblázat: Publikációk összefoglalása

Hivatkozás	Angol nyelvű cím	Vizsgálati módszer	Fontos eredmény
Pagounis et.al. (2006)	3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction	Lézerszkenneres és mérőállomásos felmérés	Napszak, vizes/száraz útburkolat és a távolság, hatása a mérésre
Antoniou et.al. (2011)	Road Safety Improvements in Junction Using 3D Laser Scanning	Lézerszkenneres és képalkotó mérőállomásos felmérés	Kétféle térbeli modellalkotási folyamat ismertetése
Mussone (2012)	The Analysis of Roundabouts Through Visibility	Matematikai modellalkotás és empirikus adatgyűjtés videófelvétel és RTK – GNSS koordináták rögzítése	Pontos matematikai modell kidolgozása a körforgalmak láthatósági követelményeinek számítására
Jung et.al. (2018)	3D virtual intersection sight distance analysis using LiDAR data	Lézerszkenneres felmérés RTK – GNSS koordináták rögzítése és mérőállomásos bemérés	Összefoglalta a korábbi GNSS és felszínmodelleken alapuló láthatósági vizsgálatok publikációit. Elemzi a szemmagasság, vízszintes látószög befolyását, a rácsméret választásának a befolyását.

A harmadik cikk jelentősen eltér a másik kettőtől, bár megjelenik a térbeli felmérés a körpályák és látótávolságok GNSS-es koordinátáinak meghatározása által, de a hangsúlyt az analitikus elemzés kapta. Többváltozós függvények segítségével írja fel az egyes körforgalmi szituációk hatását láthatósági szempontból. Figyelembe veszi a járművek kezdeti elhelyezkedését, haladási irányát, sebességét és a körforgalmat jellemző sugarat, megállási reakcióidőt.

Gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából a harmadik cikkben megfogalmazott modell és a térbeli elemzések lehetősége együttesen új eredményekhez vezethet. A jelenleg alkalmazott láthatósági követelmények egyrészt számos esetben nem biztosíthatok, másrészt a gyakorlatban

használt becsatlakozási vagy megállási időközök rövidebbek. Továbblépési lehetőség a valós csomópontokról készült pontfelhő alapján generált virtuális terekben való tesztelés.Másik fontos következtetés, hogy még számos fejlesztési lehetőség rejlik a csomóponti láthatóság témakörében, aminek a legfontosabb előnye a biztonságosabb közlekedés. Ennek érdekében szükséges a láthatósági követelmények újragondolása és a vizsgálatok automatizálási lehetőségeinek fejlesztése.

2.2 Előírásokban szereplő követelmények a közúti csomópontok és vasúti átjárok láthatóságra vonatkozóan

A láthatóság vizsgálatának nemzetközileg használt módszere a látóháromszög felrajzolása a csomópont alaprajzára. A látóháromszög azt a területet fedi le, amelyet át kell látni a csomóponton való biztonságos áthaladáshoz.

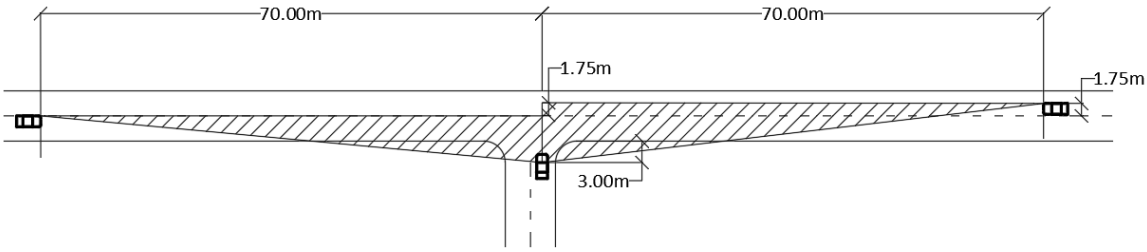
2.2.1 Hazai láthatósági követelmények szintbeni, jelzőtáblával szabályozott csomópontokra

A háromszög egyik csúcsa az alárendelt irányból érkező személy pillanatnyi pozíciója, vele szemben lévő oldala a keresztezendő útszakasz, amelynek a hosszát általában a szakaszon haladó járművek sebessége határozza meg. A háromszög ezen oldalát látótávolságnak nevezik, a háromszög által lefedett területet nevezik látómezőnek. Az előírások általában megkülönböztetnek elindulási és közeledési látóháromszöget vagy más néven látómezőt, annak függvényében, hogy az adott csomópontban kötelező-e megállni, vagy csak elsőbbségadás szükséges.

Az elindulási és közeledési látómezőnek hazai előírások szerinti definíciója látótávolságok segítségével fogalmazható meg. A jelenleg érvényes Szintbeni közúti csomópontok méretezése és tervezése (A KTSZ kiegészítése), e-UT 03.03.21 szerint „Az elindulási látótávolság az a látótávolság, amellyel az elsőbbséggel rendelkező útpálya szélétől 3,00 m távolságra várakozó járművezetőnek rendelkeznie kell ahhoz, hogy az elsőbbséggel rendelkező jármű zavarása nélkül, álló helyzetből, rá tudjon hajtani elsőbbséggel rendelkező útra.” [Fi et.al., 2004.]

A közeledési látómezőt a következőképpen fogalmazták meg: „Közeledési látótávolság alatt azt a látótávolságot értjük, amellyel az alárendelt útvonalon a csomóponthoz közeledő járműnek

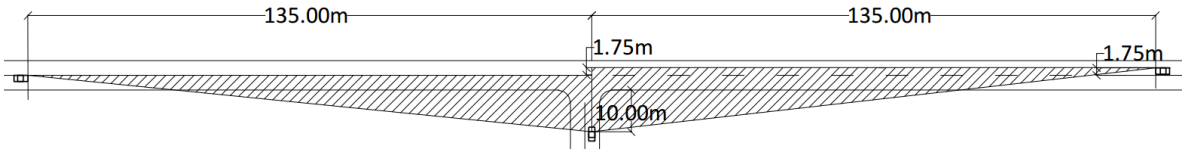
a fölérendelt útvonal szélétől számított 10 méteres távolságból rendelkeznie kell ahhoz, hogy adott esetben a fölérendelt útra megállás nélkül rá tudjon hajtani.” [Fi et.al., 2004.]



2. ábra: Elindulási látóháromszög

A 2. ábrán a magyar e-UT 03.03.21 számú útügyi előírásban szereplő értékek szerinti elindulási látóháromszöget szerkesztettem meg, amelyet 50 km/h sebességű, elsőbbséggel rendelkező keresztező útiránynak tekintettem. A sraffozott rész a szabadon tartandó látómező és a látótávolság 140 méter hosszú. [Fi et.al., 2004.]

A közeledési látóháromszög esetében a járművet a vizsgált ágon 10–20 méterrel hátrébb helyezik el. A 3. ábrát szintén az 50 km/h sebességhez tartozó értékekkel szerkesztettem meg. A közeledési látómezőhöz meghatározott látótávolság nagyobb, az így lehatárolt látómező területe nagyobb. Az elindulási látóháromszög esetében a 2. ábra alapján 516,25 m^2, a közeledési látómező esetében pedig 1940,625m^2 látási akadálymentességre lenne szükség a biztonságos behajtásra az előírás szerint.



3. ábra: Közeledési látóháromszög

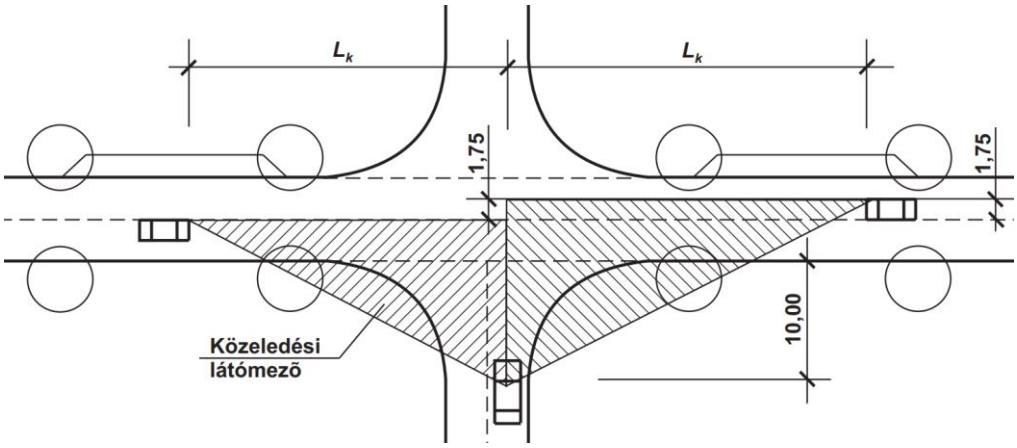
Magassági értelemben a vizsgálandó látótér lehatárolása: „A csomópontokban 0,80 és 2,50 m magasságok között olyan látómezőt kell biztosítani, amely mentes a rálátást akadályozó létesítményektől, parkoló járművektől és növényzettől. Fák, világítástartó oszlopok, jelzőberendezések a látómezőn belül lehetségesek, de ezeknek nem szabad az elsőbbségadásra kényszerülő, álló helyzetből kanyarodni vagy keresztezni szándékozó járművek vezetői elől az elsőbbséggel rendelkező járműveket, vagy az egyéb közlekedésben résztvevőket elfedni.

A térbeli látási viszonyok vizsgálatánál a személygépkocsi-vezető szemmagasságát 1,00 méterre, a tehergépkocsi-vezető szemmagasságát 2,00 méterre, az elsőbbséggel rendelkező jármű magasságát a pályaszint felett 1,00 méterre kell felvenni.” [Fi et.al., 2004.]

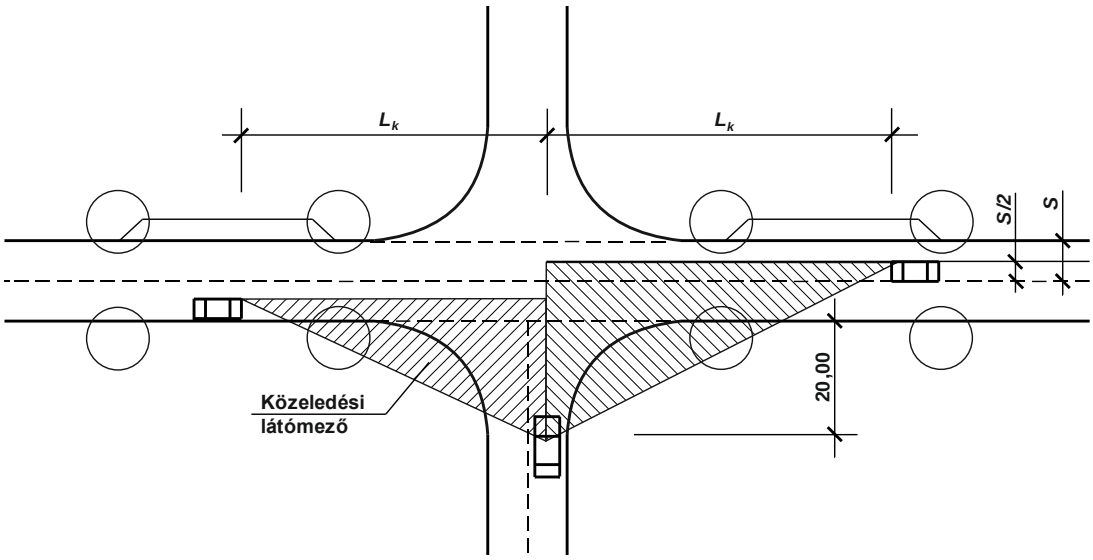
A látómezőkre vonatkozó előírások szerepelnek az e-UT 03.01.11 Közutak tervezése útügyi műszaki előírásban. A 2008-as kiadás tartalmaz néhány eltérést a vizsgálatra vonatkozóan.

Az egyik eltérés a közeledési látómező megfigyelési pontjának elhelyezése. A 2004-es előírásban 10 méterre kell felvenni az elsőbbséggel rendelkező irányú útpálya szélétől, amit beépítetlen területen és ha a bekanyarodó nehéz járművek aránya jelentős, akkor 20 méterre célszerű növelni. A 2008-as előírás ezt a távolságot 20 méterre növeli és amennyiben nem biztosítható, akkor legalább 10 méterről az elindulási látótávolságnak megfelelő látómezőt kell biztosítani.

Másik eltérés a látótávolság kiszerkesztésére vonatkozik, amig a 03.03.21-es kiadvány bal oldalon a látótávolságot a felezővonalon helyezi el, addig az újabb 03.01.11-es számú előírás a bal sáv közepén helyezi el. Ez a különbség minimálisan megváltoztatja háromszög által lefedett területet. Jelenleg mindkét előírás érvényben van. A különbségeket a 4. és az 5. ábra mutatja az közeledési látómező esetében.



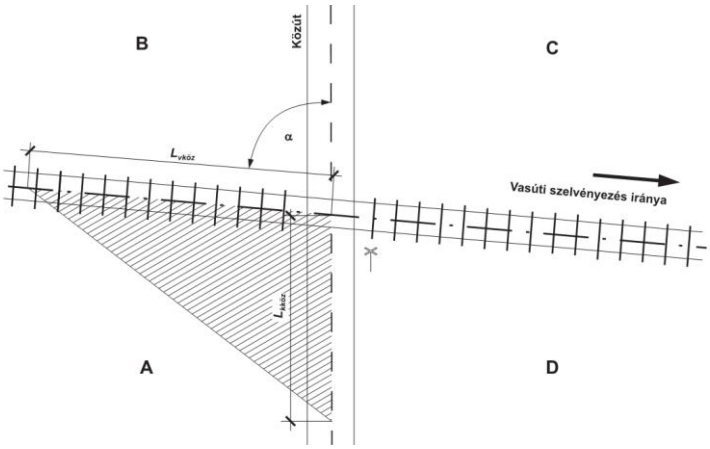
4. ábra: Közeledési látómező az e-UT 03.03.21 számú előírás alapján
[Fi et.al., 2004.]



5. ábra: Közeledési látómező az e-UT 03.01.11 számú előírás alapján [Keresztes et.al., 2008]

2.2.2 Vasúti átjárok láthatósága

A vizsgálat hasonlóságot mutat a közúti láthatóságvizsgálattal abból a szempontból, hogy az elsőbbséggel rendelkező forgalmi irány (ebben az esetben: a vasúti pálya) maximális megengedett sebességétől függ a látótávolság nagysága. Az előírás megkülönböztet teljes, csökkentett és íves vasúti pálya esetén alkalmazandó rálátási területet. Két lényeges részben viszont eltér közutak keresztezésétől: egyrészt a felmérés módja, másrészt kiértékelés rendszere is különbözik. [Rétlaki et.al., 2005.]



6. ábra: Vasúti átjáró rálátási területe [Rétlaki et.al., 2005.]

A teljes rálátási háromszöget az úttest felezővonalának és a vasúti pálya tengelyének metszéspontjától az úttesten a vasúti átjáró előtt az út tengelyén mért L_k (6. ábra) távolságban és a vasúti pályán mindkét irányban L_v távolságban határozzák meg. A háromszög kiszerkesztéséhez szükséges paramétereket az 5. táblázat tartalmazza. A vasúti pálya mentén felmérendő távolságot, L_v-t értéket a pályára engedélyezett sebesség számértékének ötszöröse és a lejtés szabályzat szerinti figyelembevételével kell meghatározni.

A csökkentett rálátási háromszög esetében az L_k távolság a fénysorompó jelzőjétől vagy a vasúti átjáró kezdete jelzőtábla oszlopától visszafelé mért egyméteres távolság. A L_v távolságot a teljes rálátási háromszögnél leírt módon kell meghatározni.

Íves vasúti pálya esetében ellenőrizni kell, hogy az előírt L_v hosszúságú szakasz a vasúti pálya mentén teljes egészében a rálátási háromszögön belül van-e. Amennyiben nem fedi le, akkor az úttest felezővonalának és a vasúti pálya ívéhez húzott érintő, valamint az érintési pont és az L_v távolság által meghatározott pont közötti ívszakasz határozza meg.

5. táblázat: Közúton mért távolságok a rálátási háromszög meghatározásához

Sebesség [km/h]	L_k [m]
30	20
40	30
50	40
70	75
90	120

A rálátási területet vizsgálni helyszíni ellenőrzéssel, azaz vizuális szemrevételezéssel vagy megfelelő felmérési módszerrel és annak kiértékelésével lehet. A szabad rálátást akadályozó tárgyakat eltávolíthatóságuk szempontjából minősítik: amennyiben az eltávolítás nem lehetséges vagy jelentősen nagyobb költségekkel jár, mint a biztosítás létesítése, akkor a biztosítás módját kell az akadály figyelembevételével megváltoztatni. [Rétlaki et.al., 2005.]

Az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről szóló 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet 26.4. b) bekezdése szerint: „A rálátási háromszögben, az út tengelyének minden pontjáról ellenőrizve a 80 cm-nél magasabb pontszerű, vasúti üzemi akadályok (vasút üzemi berendezések stb.) nem tekinthetők akadálynak, ha az akadályok együttes hossza által okozott kitakarás a rálátási háromszög vasúti tengelyében mérve oldalanként 10%-ot, vagy egy-egy

akadály vasúti tengelyre vetített hossza a 20 m-t nem éri el.” [20/1984]. Tehát a vasút esetén azokat a látási akadályokat tekinthetjük veszélyesnek, amelyek együttesen olyan egybefüggő kitakarást okoznak, hogy a vasúti jármű észlelhetőségét kizárja.

2.2.3 Hazai történelmi áttekintés

A jelenleg érvényben lévő láthatóságra vonatkozó előírások kialakulása többlépcsős folyamat eredménye. A legfontosabb alapok már a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium (KPM) 1967-ben kiadott Országos Közutak Tervezési szabályzata útügyi szakmai szabványban is megjelentek.

2.2.3.1 Országos Közutak Tervezési Szabályzata (KPM) 1967

A szakmai szabvány a szabályozatlan csomópontok számára kötelezően, szabályozottak számára lehetőleg előírja a látóháromszögek szabadon tartását, azaz a csomópontokhoz közeledő járművek kellő időben észlelhessék a másik járművet és szükség esetén meg tudjanak állni.

„A látási háromszögek szerkesztéséhez a 6. táblázatban megadott megállási látótávolságot legalább a burkolatok feletti 1,2 méter magasságtól kell biztosítani. A megállási látótávolság meghatározásához új utaknál a tervezési sebességet, meglévő utaknál legalább az átlagos menetsebességet kell alapul venni.” [KPM Sz ÚT/3-67, 1967.]

6. táblázat: Megállási látótávolságok [KPM Sz ÚT/3-67, 1967.]

Tervezési sebesség [km/h]	Megállási látótávolság [m]
150	350
120	220
100	160
80	100
60	50
50	40
40	25
30	15

„Elsőbbségadással vagy STOP táblával szabályozott csomópontok esetén, azon csomópontokban, ahol az egyik irány a másiknak „Elsőbbségadás kötelező” vagy „Állj, elsőbbségadás kötelező” táblával alá van rendelve, az alárendelt irányból érkező és a csomópont

előtt megálló járművek vezetői részére biztosítani kell a keresztezési látótávolságot, tehát az álló helyzetből induló jármű vezetője olyan távolságra észlelhesse a főirányban közlekedő járműveket, hogy azok odaérkezése előtt a keresztezést vagy a kanyarodást biztonságosan végre tudja hajtani.

A keresztezéshez és balraforduláshoz 10 másodperc, a jobbraforduláshoz legalább 5 másodperc időt kell számításba venni és ennek megfelelően a megállási helyről 2,8v, illetve 1,4v hosszban (m) látni kell a keresztező utat. Új útnál v a tervezési sebesség, meglévő útnál legalább az átlagos menetsebesség km/h a keresztezett úton.

Gyalogátkelőhelyeknél, autóbusz-megállóknál, kerékpárút-keresztezéseknél legalább az 5 másodperc időnek megfelelő keresztezési látótávolságot kell biztosítani.

Ahol a keresztezési látótávolság nem lenne biztosítható, az elsőbbséggel rendelkező irányban a biztosítható látótávolságnak megfelelően korlátozni kell a sebességet, vagy fényjelzős szabályozást kell alkalmazni." [KPM Sz ÚT/3-67, 1967.]

A szabályzat foglalkozik a vasúti keresztezésekkel is, a szövegezése szerint lehetőleg biztosítani kell a látási háromszög szabadon tartását a közúton szintén alkalmazva a 6. táblázat megállási távolságait, a vasút vonalán a vonalra engedélyezett sebesség ötszörösét méterben. Sorompó nélküli keresztezéseknél pedig, ha a háromszög nincs biztosítva, akkor legalább egy úgynevezett keresztezési távolságot kell biztosítani, aminek a 10 másodperc keresztezési idő az alapja. A megállított járműnek a vasúti vonalra engedélyezett sebességének 2,8-szorosában méter egységben látnia kell a vasúti pályát.

2.2.3.2 Közutak tervezése (1986)

Az 1986. évben kiadott Közutak Tervezése – MSZ-07-3713-86 számú szabványban közutak keresztezésénél kétféle látómezőt különböztet meg négy szituációban. Az egyik a kívánatos látómező, a másik a minimális látómező, amelyet minden körülmények között biztosítani kell, továbbá megfogalmazza a szabvány, hogy 0,5 méternél keskenyebb tárgy a látómezőben nem tekinthető látási akadálynak. A négy forgalmi helyzet: becsatlakozás, kiválás, Elsőbbségadás kötelező és Állj! Elsőbbségadás kötelező. Általánosságban előírja, „hogy fokozott figyelmet kell fordítani a megfelelő láthatósági viszonyok megteremtésére és a rálátási háromszögek áttekinthetőségére.

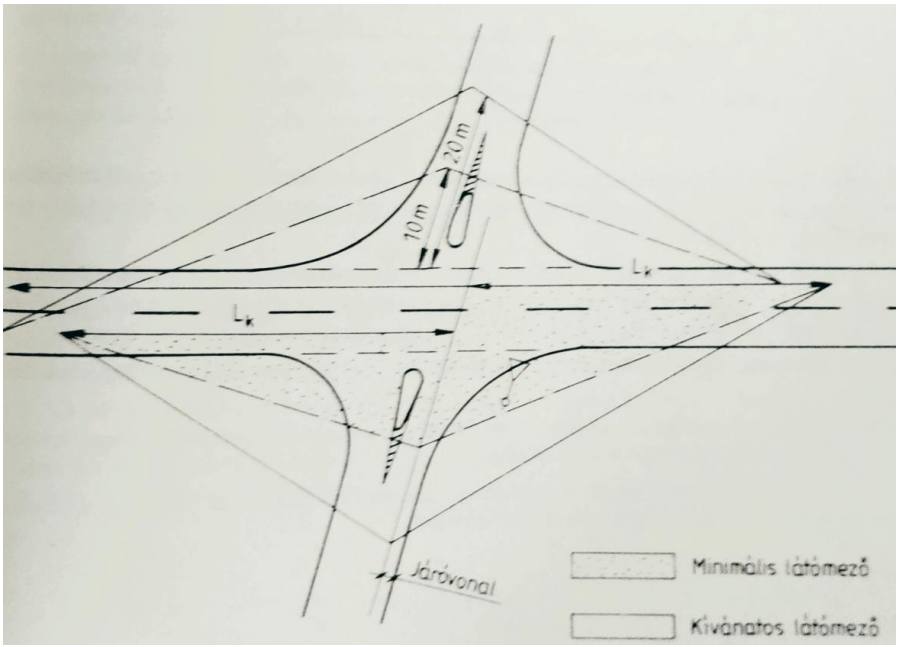
Ennek érdekében a csomópontok gondos telepítésén túlmenően a látómező látási akadályokból való mentességét biztosítani kell. A 0,5 m vagy annál kisebb átmérőjű elemek nem számítanak akadálynak, de ha több van belőlük, akkor együttes hatásukat figyelembe kell venni."

A szintbeni csomópontoknál (7. ábra) az „Elsőbbségadás kötelező" jelzőtáblával védett útvonalnál az L_k-val (7. táblázat) képzett látómezőt kell szabaddá tenni.

7. táblázat: [MSZ-07-3713-86, 1986.]

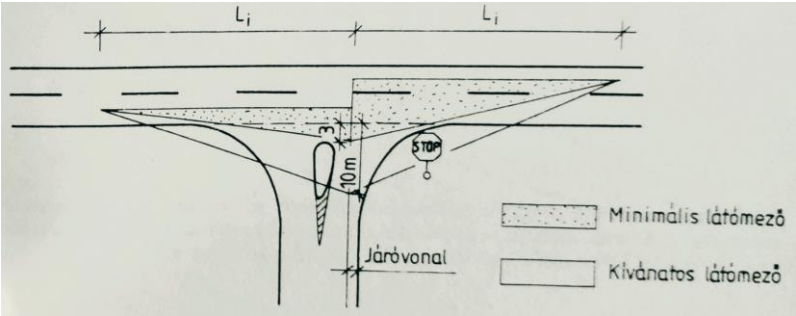
v_{cs} [km/h]	40	60	80	100
L_k [m]	110	160	210	260

L_k = látótávolság (Elsőbbségadás kötelező esetben)
v_{cs} = csomóponti sebesség (v_t + 20 km/h), de legfeljebb 100 km/h
v_t = tervezési sebesség, km/h



7. ábra: Közeledési látótávolság [MSZ-07-3713-86, 1986.]

Szintbeni közúti csomópontoknál „Állj! Elsőbbségadás kötelező" jelzőtáblával védett útvonalnál az elinduláshoz tartozó látótávolsággal (L_i) határolt látómezőt kell szabadon hagyni (8. ábra).



8. ábra: Elindulási látómező [MSZ-07-3713-86, 1986.]

Követelmény, hogy az alárendelt irányból a jelzőtábla előtt, a fölérendelt útvonal szélétől legalább 3 m-re álló járműből a vezető át tudjon látni a kiindulási látótávolságok végpontjaira. Az L_i távolságot a 8. táblázat alapján kell meghatározni.

8. táblázat: A csomóponti mozgásokhoz szükséges időközök [MSZ-07-3713-86, 1986.]

A csomóponti mozgásokhoz szükséges időközök	$v_{max.}$ ≅50–60 km/h		$v_{max.}$ ≅90 km/h	
	A fölérendelt úton a forgalmi sávok száma			
	2	4	2	4
Jobbra becsatlakozás				
– Elsőbbségadás kötelező Δt_h	5	5	6	6
– Stoptábla Δt_h	6	6	7	7
Balra kanyarodás Δt_h	5	5,5	5,5	6
Keresztezés				
– Elsőbbségadás kötelező Δt_h	6	6,5	7	8
– Stoptábla: Δt_h	7	7,5	8	9
Jobbra becsatlakozás*				
– Elsőbbségadás kötelező Δt_h	6,5 (6)	7 (6,5)	8 (7)	9 (8)
– Stoptábla Δt_h	7,5	8	9	10

Δt_h = s-ben személygépkocsik részére

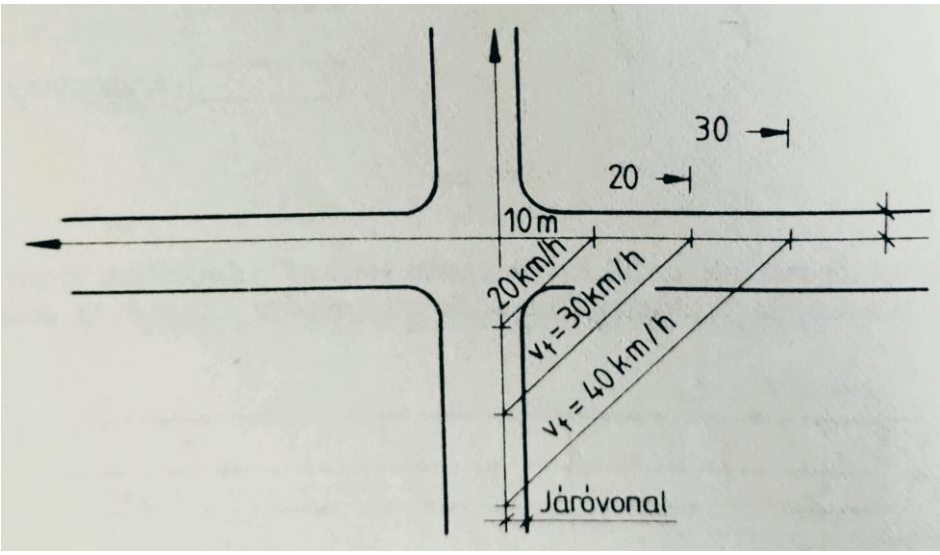
*A zárójeles értékek balra kanyarodók számára szolgáló felálló-befogadó sáv alkalmazása esetén vehetők számításba.

A táblázatból meg kell állapítani a becsatlakozások közül a legnagyobb időigényt. Az időigényből és a tervezési sebességből az L_i kiszámítható.

A látótávolságokkal határolt látómezőt az űrszelvény teljes magasságával kell szabadon hagyni. Kivételt a közúti jelzőtáblák elhelyezése képezhet, ahol viszont a gépjárművezetők szemmagasságától legalább 1,10 m-től 2,50 m-ig rálátást egyedi vizsgálatok alapján biztosítani kell.

Amennyiben a szükséges látómezők akadálytól való mentességét biztosítani nem lehet, a fölérendelt úton sebességkorlátozást kell előírni. A korlátozott sebességhez tartozó kisebb látómező akadálytól való mentességét mindenképpen el kell érni.

Belterületi szintbeni csomópontoknál általában a külső szakaszra vonatkozó előírások betartására kell törekedni. Belterületen – intenzív beépítettség esetén – ha a kiindulási látótávolság nem tehető akadálytalanná még a fölérendelt út reális sebességkorlátozásával sem, ott csomópontot nem szabad létesíteni.



9. ábra: Egyenrangú utak [MSZ-07-3713-86, 1986.]

A kilátási lehetőségek biztosítását és a forgalomszabályozás módját egymással összefüggésben kell megtervezni.

Egyenrangú utak csomópontjaiban a látómező nagyságát a csomópontot alkotó utakon alapul vett tervezési sebesség (v_t) nagysága határozza meg (9. ábra).

A „jobbkéz szabály” alkalmazását akkor indokolt tervezni, ha a keresztező utak 2x1 forgalmi sávosok, közel azonos keresztmetszeti kialakításúak és kisforgalmúak.

„Elsőbbségadás kötelező”, illetve „Állj! Elsőbbségadás kötelező” jelzőtáblával védett belterületi útvonalak csatlakozásainál – ha nincs akadálya – a külterületi számítási módot kell alkalmazni. Beépítési kötöttség esetén a 7. táblázatból kiindulóan az 5. ábra szerinti megoldást kell tervezni.

2.2.4 Nemzetközi előírások a látómezőre vonatkozóan

A különböző országok szakmai előírásai és szabványai több szempontból is hasonlóságot mutatnak. Például az elindulási látótávolság hossza minden esetben sebességhez kötött, közel megegyező értékekkel. Jelentősebb eltérés, hogy míg a német és magyar előírás az elindulás esetén három méterre helyezi a látóháromszög középpontját a keresztező út szélétől, addig az angol tipikus esetben 9 méter.

9. táblázat: Angol, német és magyar csomóponti látómezők összehasonlítása

Követelmény	Angol	Magyar		Német*
Vertikális látómező	0,26 - 2 m	0,8 -2,50 m		0,8 -2,50 m
Elsőbbséggel rendelkező jármű magassága		1 m		1 m
Elsőbbséget adó jármű szemmagassága:				
– Személygépjármű	1,05 m	1 m		1 m
– Tehergépkocsi	2 m	2 m		2 m
Távolság a keresztező út szélétől:				
– Normál forgalom esetén	9 m	3 m		3 m
– Kerékpáros átvezetésnél		4,5 - 5 m		3 -5 m
– Közeledési látótávolság	15 m	10 m		15 m
– Nagy arányú teherforgalom esetén		20 m		20 m
Sebesség az elsőbbséggel rendelkező úton:	Látótávolságok			
		Elindulási	Közeledési	
– 30 km/h		30 m	110 m	30 m
– 40 km/h		50 m	160 m	50 m
– 50 km/h	70 m	70 m		70 m
– 60 km/h	90 m	85 m	210 m	85 m
– 70 km/h	120 m	110 (175) m		110 (200) m
– 80 km/h		135 (210) m	260 m	
– 85 km/h	160 m			
– 90 km/h		170 (250) m		
– 100 km/h	215 m	200 (300) m		
– 120 km/h	295 m			

* Lakott területekre vonatkozó paramétereket a RASt 06 jelzésű előírás tartalmazza.
[Baier et.al., 2007.]

A 9. táblázatban látható, hogy az azonos sebességekhez közel egyező látótávolságok tartoznak. A táblázatban szereplő zárójeles értékek 15% feletti nehézgépjármű forgalom esetén javasolhatók. [Keresztes et.al., 2008.], [Hartkopf et.al., 2012.]; [TD 42/95, 1995.]
A hazai útügyi műszaki előírások a közeledési látótávolságot 10 méterre határozzák meg az út szélétől, amelyet 20 méterig növelni lehet, ha a bekanyarodó nehéz járművek aránya jelentős. Németországban 15 méter alapesetben, de szintén a magas nehézjármű forgalom esetén növelhető 20 méterig. Az Egyesült Királyságban szintén 15 méter. [Keresztes et.al., 2008.], [Hartkopf et.al., 2012.], [TD 42/95, 1995.]

A láthatóságra vonatkozó értékek összehasonlításával az 1998-ban megjelent Harwood et.al. 1998 International Sight Distance Design Practices című tanulmány részletesen foglalkozik, melynek első része a megállási látótávolságok és számításukhoz használt matematikai modelleket mutatja be, második részében az előzésekhez szükséges látótávolságokat elemzik. A harmadik részében találhatjuk meg a csomópontokra vonatkozó értékeket és táblázatokat. Az írás megkülönböztet nem szabályozott, azaz jobbkéz szabályos, elsőbbségadás kötelező táblás és stop táblás csomópontot. A publikációban összesen tizenegy ország láthatóságra vonatkozó értékei szerepelnek: Ausztrália, Ausztria, Anglia, Kanada, Franciaország, Németország, Görögország, Dél-Afrika, Svédország, Svájc, Egyesült Államok.

Az összehasonlító táblázatokból kiderül, hogy a csomópontokra vonatkozóan a személygépjármű-vezető szemmagasságát 1–1,15 méter, tehergépjármű-vezető szemmagasságát 1,80–2,5 méter között írják elő. A megfigyelési vagy döntési pont helyzetére, elindulási szituációban a svájciak használják a legrövidebbet, ez 2,5 méter, Ausztrália esetében hét méterrel a legnagyobb érték szerepel és ehhez a szituációkhoz tartozó látótávolságok paraméterei közül szigorúságban a kanadaiakat az Egyesült Államok követi. [Harwood et.al., 1998.]

2.2.5 Alárendelt utak láthatósági követelményei

Bár az alapelvek hasonlóak, a különböző országokban az úttervezési irányelvek eltérő feltételeket és szabályokat határoznak meg a szükséges látótávolságokra és látómezőkre. Az alábbiakban összefoglaljuk néhány ország kapcsolódó irányelveit.

2.2.5.1 Közeledési látóháromszög

A közúti csomópontok ágainak tartalmazni kell egy olyan akadály nélküli háromszög alakú területet, amely biztosítja a közeledő vezető kilátását a potenciálisan ütköző járművekre. A háromszög oldalainak hosszának mindkét irányban olyannak kell lennie, hogy a járművezetők időben felmérhessék a közlekedési szituációt és képesek legyenek lassítani a járművet vagy megállítani, mielőtt ütköznének a csomóponton belül. [AASHTO, 2018.]

A tiszta látóháromszög geometriája olyan, hogy amikor az elsőbbség nélküli jármű vezetője megkeresi az elsőbbségi joggal rendelkező járművet egy közúti csomópont megközelítésénél, akkor a potenciálisan ütköző jármű vezetője az első járművet is láthatja. Így biztosítja a szabad látóháromszöget az elsőbbség nélküli járművek számára és lehetővé teszi az elsőbbségadással rendelkező járművek vezetőinek is, hogy szükség esetén lassítsanak, megálljanak vagy elkerüljék a másik járművet.

2.2.5.2 Közeledési látótávolság (ASD)

Az a minimális látótávolság, amelynek biztosítottnak kell lennie az összes csomóponthoz vezető alárendelt út megközelítésnél annak érdekében, hogy a járművezetők tisztában legyenek egy csomópont jelenlétével. Különbözik a megállási látási távolságtól (SSD) a számításakor használt tárgy magasságában. Az ASD-t a vezető szemmagasságától (1,1 m) 0,0 méterig mérik, ami biztosítja, hogy a vezető bármilyen útburkolati jelet láthasson a csomópontban. Az SSD-t 1,1 métertől 0,2 méterig (a tárgy magassága) mérik. A magasabb rendű utak megközelítéseknél is kívánatos, hogy a járművezetők láthassák a csomóponton belüli burkolatot és jelzéseket. [Austroads Ltd, 2017.]

2.2.6 Magasabb rendű út láthatósági követelményei

A védett utakon haladva is fontos a forgalmi szituációk megfelelő időben történő felismerése, ezért a magasabb rendű utak tervezésénél és kialakításánál is szempont, hogy biztosítva legyen a sebességkorláthoz tartozó megállási és csomóponti láthatóság. Ez utóbbi az alárendelt úttal történő kereszteződés és az esetlegesen onnan közelítő jármű felismerhetőségét biztosítja.

2.2.6.1 Megállási látótávolság

A megállási látótávolságot (SSD) folyamatosan biztosítani kell, hogy a járművezetők olyan kilátással rendelkezzenek az úttestre, amely elegendő ahhoz, hogy megállhassanak. A megállási

látótávolság biztosítása szükséges az úttest minden részén, beleértve a közúti csomópontokat is, ahol alapvető fontosságú a csomópont működésében.

A CEDR, Transznacionális Útkutatási Program 2013-as felhívása keretében készült egy kutatási projekt, melynek neve: Európai látótávolságok perspektívája – EUSight. A kutatási projekt célja a megállási látótávolság (SSD) témájának, valamint az utak geometriai tervezésében betöltött szerepének és hatásának részletes vizsgálata volt, figyelembe véve az európai országok közötti különbségeket és hasonlóságokat. [Weber et.al., 2016.]

A megállási látótávolság a geometriai tervezés legalapvetőbb követelménye, mivel a vonalvezetésnek az út mentén bármilyen ponton elegendő látótávolságot kell biztosítania ahhoz, hogy a vezető biztonságosan megállhasson az úttesten a váratlan akadály előtt. Az SSD nem más, mint az a távolság, amelyet a vezetőnek képesnek kell lennie előre látni az út mentén a veszély vagy akadály észleléséhez és a jármű biztonságos leállításához. Az SSD-t a vízszintes és a függőleges vonalvezetés egyaránt befolyásolja. Az íveken belül a keresztmetszet és az út széle is hatással lehet.

A megállási látótávolság a vezető észlelési és reakcióideje alatt megtett távolság és a jármű fékútjának összege. Lényegében ez az a távolság, amely ahhoz szükséges, hogy egy meghatározott sebességgel haladó jármű megálljon, mielőtt elérné az akadályt/veszélyt. Az SSD függ:

- a járművezetőnek a megállási követelmény észleléséhez és reagálásához szükséges idő;
- a vezető számára a fékezési manőver elvégzéséhez szükséges idő.

Az alap SSD képlet (1) a következő [Fambro et.al., 1997.]:

$$SSD = 0{,}27 \cdot v \cdot t_{RT} + 0{,}039 \cdot \frac{v^2}{a} \qquad (1)$$

ahol

- v = a tervezési sebesség (km/h),
- t_{RT} = a reakcióidő (s) és
- a = az átlagos lassítási sebesség (m/s^2).

Az egyes országok között az SSD követelményeinek, különböző bemeneti paramétereinek, a fékezési együtthatókat és a vezető/tárgy magasságértékeinek összehasonlítása során a kutatásból kiderült, hogy a bevont az országokban az SSD jellemzői némi eltérést mutatnak. [Weber et.al., 2016.]

A legtöbb ország rögzített észlelési reakcióidőt (PRT) ír elő, ez 2 másodperc. A holland irányelvek eltérnek más országokétól, mivel különböző PRT-ket írnak elő a különböző tervezési sebességekhez. Megállapították, hogy az SSD-k közötti különbségek a legtöbb országban alacsonyak, kivéve Írországot és az Egyesült Királyságot, ahol az SSD-követelmények körülbelül egyharmaddal magasabbak, mint a többi országban. Összességében egyetértés van abban, hogy mik az SSD követelményei.

2.2.6.2 Biztonságos csomóponti látótávolság

A biztonságos közúti csomóponti látótávolság (SISD) az a legkisebb távolság, amelyet a csomópontoknál a főúton biztosítani kell. A SISD elegendő távolságot biztosít a főúton lévő jármű vezetőjének ahhoz, hogy megfigyelje, hogy egy alárendelt úton közlekedő jármű megközelíti az ütközési helyzetet, és megállásig lassul, mielőtt elérné az ütközési pontot.

2.2.7 Csomóponti láthatósági követelmények

2.2.7.1 Becsatlakozási időköz

A becsatlakozási időköz két jármű közötti távolság, időben kifejezve. A forgalomtechnikában általában az első jármű elejétől a következő jármű elejéig mérik (bruttó előzési távolság). A láthatósági és biztonsági vizsgálatokhoz a 85-percentilis távolságot kell használni, amelyet a közlekedők 85%-a elfogad. Brilon et.al. (1997) szerint „A becsatlakozási időköz azt a minimális időtartamot jelenti az elsőbbségi áramlatban, amelyet egy alárendelt úthasználó hajlandó elfogadni a főáramlaton való áthaladáshoz vagy a főáramlatba való belépéshez”. A becsatlakozási időköz becsléséhez statisztikai modellekre vagy eljárásokra van szükség. A becsatlakozási időköz becslésére számos különböző modell létezik. A gyakorlatban leggyakoribb modellek: Raff (1950) és Troutbeck (2014).

2.2.7.2 Elindulási látómező

Az AASHTO (2018) szabvány a személygépkocsikra vonatkozó becsatlakozási időköz értékét a manőver típusától (jobbra kanyarodás, balra kanyarodás, keresztezés) és a járműtípustól

(személygépkocsi, egyterű tehergépkocsi, kombinált tehergépkocsi) függően adja meg. Ausztrál források a sebességtől függően 5,4 és 9,0 másodperc között határozzák meg az időkülönbséget. [Cox et.al., 2015.] Az AASHTO szerinti becsatlakozási időközöket a 10. táblázat tartalmazza. A balra kanyarodás a legrosszabb esetnek tekinthető.

10. táblázat: Követési időközök az alárendelt útról történő elindulásról [AASHTO, 2018.]

Jármű típusa	Becsatlakozási időköz (s)	
	Keresztezés és jobbra kanyarodás	Balra kanyarodás
Személygépjármű	6,5	7,5
Tehergépjármű	8,5	9,5
Nyerges tehergépjármű	10,5	11,5

A STOP táblával szabályozott csomópontokban az AASHTO (2018) kézikönyv szerint a vezető szemének helyzete a csomópont legközelebbi szélétől három méterre van. 50 km/h sebesség esetén (amely lakott területen a megengedett sebesség) a szükséges látótávolság mindkét irányban 105 méter.

Az elsőbbségadás kötelező tábla által szabályozott csomópontban a járművezető pozíciója (döntési pont) a kereszteződéstől távolabb helyezkedik el, és a szükséges látótávolság nagyobb. A látótávolságot mindkét esetben a sebesség (v) függvényében határozzák meg.

A STOP táblával szabályozott csomópontok látótávolságát (2) a vezetőnek az úttestre való belépéshez szükséges elfogadható becsatlakozási időköz nagysága és a főút tervezési sebessége alapján határozzák meg:

$$SD = 0{,}278 \cdot v_m \cdot t_c \qquad (2)$$

ahol

- SD = látótávolság a védett útvonalon (m),
- v_m = a védett út tervezési sebessége (km/h),
- t_c = elfogadott becsatlakozási időköz a védett útvonalra vonatkozóan (s).

2.2.7.3 Legkisebb elfogadott követési időn alapuló távolság

Az ausztrál irányelvek szerint a Legkisebb elfogadott követési időn alapuló látótávolság (Minimum Gap Sight Distance) (MGSD) azon távolságokon alapul, amelyek megfelelnek

annak az elfogadott becsatlakozási időköznek, amelyet a játművezetők készek elfogadni, amikor csomópontokban haladnak vagy kanyarodnak. Jellemző forgalmi manőverek: (jobb oldali közlekedési irány esetére értelmezve) kanyarodás jobbra, keresztezés, főútról balra, mellékútról balra kanyar és fonódás. [Austroads, 2017.]

Az MGSD mérése a konfliktus ponttól (a közeledő és a belépő járművek között) visszafelé a közeledő jármű haladási sávjának középpontja mentén történik, és egy 1,1 m-es ponttól (a vezető szemmagassága) egy 0,65 m-es pontig (tárgymagasság) mérik. Ez a keresett becsatlakozási időköz hosszától és a közeledő forgalom megfigyelési szögétől függ. [Austroads, 2017.]

2.2.8 Körforgalmak láthatósága

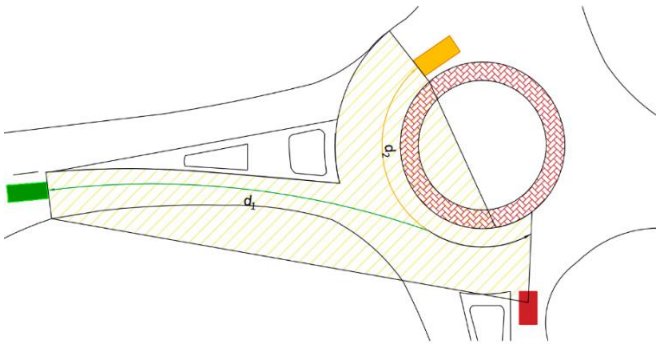
Láthatóság szempontjából a körforgalmak speciális helyzetűek a körgeometria miatt. Kétféle megközelítéssel találkoztam az előírásokban. A hazai követelmények hasonlítanak az Egyesült Államokban használthoz. A körforgalmi látótávolságának biztosítania kell a járművezető számára a biztonságos csatlakozást a körpályára anélkül, hogy megzavarná a forgalmat.

Az elindulási szituáció vizsgálatakor a megfigyelési pont helyzetét a csomópont előtt 15 méterre kell felvenni. A látómező lehatárolása két különböző irány megfigyelésén alapszik. Az első irány az előző csatlakozási pont és az arra rávezető útszakasz egy része. A szakasznak a sebessége a belépési szakasz és a körforgalom sebességének átlagából határozható meg. A 10. ábrán „d_1” felirat jelzi a belépési látótávolságot az úttengely mentén mérve. A második irányt körpálya mentén kell értelmezni, ezt a „d_2”-es felirat jelzi. A sebesség a balra kanyarodó járművek sebességéből becsülhető (3). Az előírás megadja a pontos hosszértékek számítási módját. [Robinson et.al., 2000.]

$$d_{1,2} = 0{,}278 \cdot v_{major} \cdot t_c \qquad (3)$$

ahol

- d = körforgalom esetén alkalmazandó látótávolság (m),
- v_{major} = a megfigyelt irány tervezési sebessége (km/h),
- t_c = becsatlakozási időköz, 6,5 s.



10. ábra: Körforgalom látómezője

A másik megközelítés szerint a körforgalom belső körének átmérője alapján határozzák meg a szükséges látótávolságot. Ezt az értelmezést például az Egyesült Királyság és Ausztria alkalmazza.

Egy érdekesség az Egyesült Királyság körforgalomra vonatkozó tervezési előírásából: A túl nagy szabad rálátás a jobb irányra (bal oldali forgalom esetén) nagyobb sebességek alkalmazásához vezet, ami növeli a baleseti kockázatokat. [TD 16/07, 2007.]

2.3 Közlekedési csomópontok felmérési módszerei láthatósági vizsgálatokhoz

A közúti láthatósági felmérések gyakorlatáról képet kaphatunk a Magyar Útügyi Társaság által készíttetett tanulmány 4.2-es fejezetéből [Hóz et.al., 2005.] „A helyszíni szemléhez olyan eszközökre van szükség, mint pl. mérőszalag, mérőkerék, fényképezőgép, video felvevő stb. A fényképek vagy videofelvételek hasznos segédeszközök az irodai munkához. Meg kell mérni a szigetek szélességét és a hosszát, a kanyarodó sávokat, kijelölt gyalogos-átkelőhelyeket, buszmegállókat, a keresztező utak szögét, valamint a közúti jelzőtáblák elhelyezését, útburkolati jeleket, jelzőlámpák oszlopait, korlátokat, kerítéseket, acélszalag korlátokat stb. Ha gyalogosokat, vagy járműveket vonzó létesítmények vannak, mint pl. üzletek, üzemanyagtöltő állomások stb. ezek helyét a térképre pontosan be kell jelölni. Továbbá fel kell jegyezni a hibákat, mint pl. rossz táblák, reklámok, nyílások a kerítésen stb. A közút, a közúti bútorok, az útburkolat és annak minősége adatain kívül a baleseti helyzetet javító megoldás megtalálásához a forgalmi rendről is kell információkat gyűjteni. A vizsgálat eredményeit térképre kell rögzíteni. Az összes adat hasznos lehet, amikor az adott helyszín veszélyességének okait kutatjuk és a lehetséges javítás módjait keressük.”

Az idézett részből látható, hogy sok tényezőt kell figyelembe venni és rögzíteni. Javasolt felvételi módszerként a képfelvételeket, és a szalagos vagy kerekes méréseket emeli ki. A fényképek és videofelvételek használata előnyös, mivel egy-egy kép információtartalma jelentős, hátránya viszont, hogy ilyen körülmények között számszerű adatokat, mint például távolság vagy méret, csak nagyságrendileg lehet kinyerni belőlük. A mérőszalagos vagy mérőkerekes mérések ezt hivatottak kiküszöbölni, ezekkel a módszerekkel azonban a magassági viszonyok nem mérhetők. Emellett szintén hátrány még, hogy mind a mérés, mind az ilyen adatokból történő térképezés rendkívül hosszadalmas folyamat, valamint ez a mérési módszer forgalom mellett nem biztonságos a felmérő számára. [Mester, 2012]

2.3.1 Geodéziai mérőállomással készíthető felmérések

A hagyományos geodéziai felmérés képes ezeket a hátrányokat megszüntetni, a felmérés gyorsabban, pontosabban, biztonságosabban elvégezhető, a kapott koordinátákból könnyen szerkeszthető térkép, illetve lehetőség nyílik a magasságmérésre is. A felmérések eredményeit különböző vizsgálatokra, elemzésekre használják fel, melyek annál sikeresebbek, minél részletesebb az elkészült modell. A szalagos, kerekes, de még a geodéziai felmérés is sok egyszerűsítést tartalmaz, ezért elengedhetetlenek a fényképek, viszont így a felvételek és a térkép nem egy rendszerben található, ami lassítja, nehezíti az elemzést. [Mester, 2012]

2.3.2 Lézerszkenneres felmérések

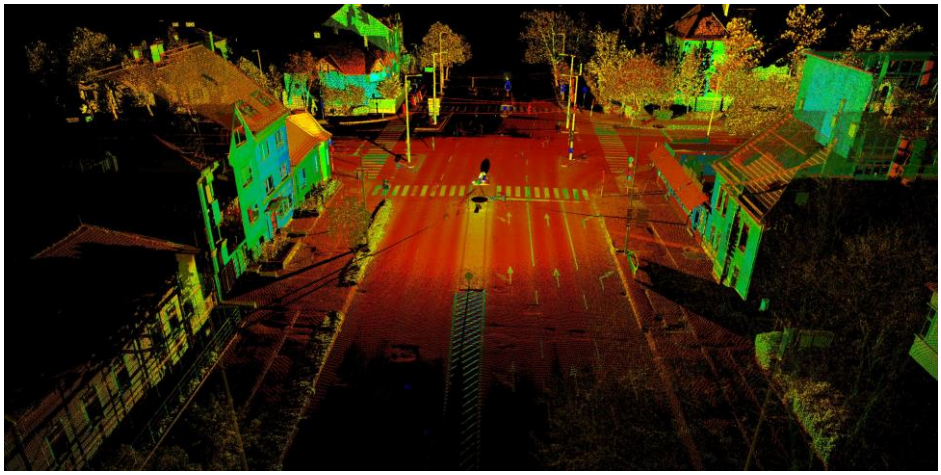
A távérzékelési eljárások egyik legújabb területe, az 1970-es években kezdték fejleszteni, majd gyakorlati alkalmazásokban az 1990-es évek elején jelent meg. Ennél az eljárásnál is igaz, hogy az adatgyűjtés fizikai érintés nélkül történik. A távérzékelési eljárások közül az aktív eljárások közé tartozik, ugyanis saját lézerfénysugarat bocsájt ki. Megkülönböztetünk földi és légi lézerszkennelést. A földi lézerszkennelés tovább osztható statikus (a felmérés mozdulatlan állványról történik) és dinamikus (a műszer valamilyen mozgó járműre van felszerelve és kiegészítő rendszerek segítik a helymeghatározást és stabilitást, például GNSS navigáció, dőlés- és gyorsulásérzékelők) felmérésekre. [Tarsoly et.al., 2011.]

A lézerszkennelés kifejezés gyakran használt rövidítése a LiDAR (Light Detection and Ranging) ami lézeralapú távérzékelést jelent. A földi, mozdulatlan állványon elhelyezett

lézerszkennerrel történő felmérési módszer rövidítése a TLS (Terrestrial Laser Scanning), a mozgó járműre szerelt LiDAR-ral történő felmérésnek pedig az MLS (Mobile Laser Scanning).

A lézerszkennelés eredményterméke a pontfelhő, ami az igen sűrűn meghatározott koordinátás pontok halmaza.

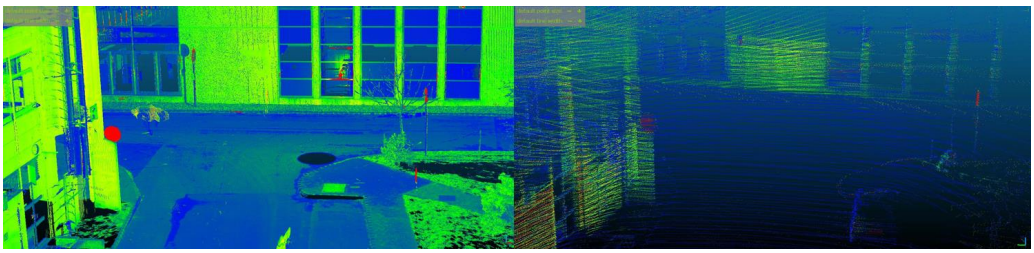
A lézerszkennelés más módszerekhez képest gyorsabban képes nagy mennyiségű adatot gyűjteni. A felmérést követően, a pontfelhőből lehetőség nyílik CAD modellek, domborzati modellek vagy teljes adatbázisháttér létrehozására. [Mester, 2012.]



11. ábra: Lézerszkennerrel felmért csomópont térbeli modellje

A felmérés által létrehozott pontfelhő tartalmazza a helyszín minden látható elemét, saját helyén, mérethelyesen, három dimenzióban ábrázolva, a pontsűrűség pedig szükségtelenné teszi a manuálé vezetését, mivel az egyes objektumok jól felismerhetők. (11. ábra) A lézerszkennerek nem csak a koordinátákat határozzák meg az egyes pontokra, hanem a visszaérkező fény intenzitásértékét is. Ez azt eredményezi, hogy a nyers pontfelhőben az intenzitás szerint megjelenítve felismerhetők a részletek, vagyis a modell a lehető legkevesebb egyszerűsítést tartalmazza. A pontfelhő, ahogy a neve is mutatja, rengeteg koordinátás pontból áll, ami azt jelenti, hogy az ezek közti távolság egyszerűen meghatározható, vagyis a modellben bármilyen méret és távolság megfelelő pontossággal (cm alatti) megkapható. [Mester, 2012.]

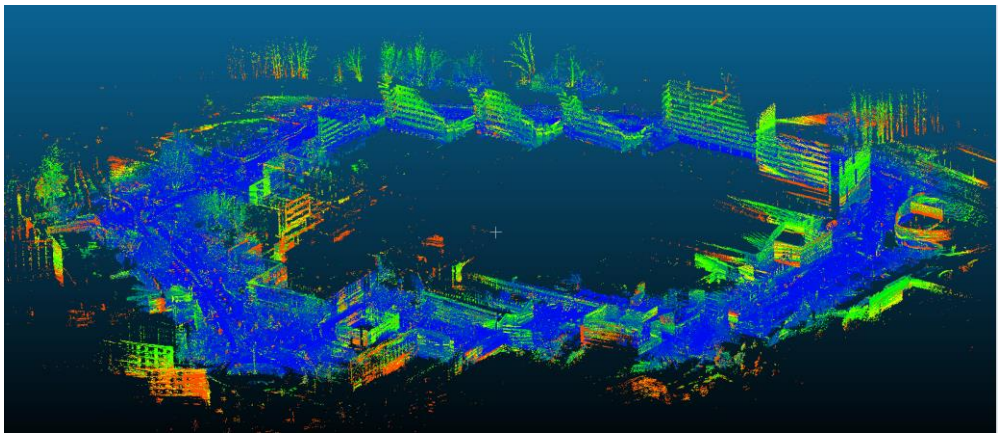
A lézerszkenneres technológia különböző megvalósításai egyre több technikai eszközbe kerülnek beépítésre, például önjáró robotok, fűnyíró vagy porszívó. Legjelentősebb fejlesztések az autóiparhoz köthetők a vezetést segítő rendszerek és az önvezető járműfejlesztések terén.



12. ábra: TLS (bal) és 128 csatornás LiDAR (jobb) felvétele ugyanarról a csomópontról

A 12. ábrán látható, hogy az autonóm járműre helyezett érzékelők jóval kisebb sűrűségű pontfelhőt állítanak elő, mint a TLS által készített felmérés. Ennek egyik oka, hogy a TLS egy stabil ponton több percig mér, addig a jármű mozgás közben rögzít. Technikai megvalósításban is különbözőek a műszerek, amíg a TLS vertkálisan gyorsan, horizontális értelemben lassan fordul el a tengelyek körül, addig a MLS szenzorjai esetében vertikálisan rögzített csatornák segítségével történik az adatrögzítés és vízszintes tengely körül forog nagy sebességgel. A csatornák száma szabja meg a vertikális értelmű sűrűséget.

Az önvezető járműveken használt LiDAR típus az SSL (Solid-State LiDAR) nem tartalmaz mozgó alkatrészeket. Előnye a kedvezőbb ára és a hatótávolsága. Hátránya, hogy csak egy adott szögben képes mérni és kisebb pontsűrűséggel. Mindezek ellenére ezekkel az eszközökkel előállított felmérésben is felismerhetők és elkülöníthetők a nagyobb tereptárgyak, például épületek, járművek, fák, jelzőtáblák alakjai, burkolati jelek. Mindez megfigyelhető a 13. ábrán.



13. ábra: Pontfelhő a Széchenyi István Egyetem környékéről, autonom jármű LiDAR felmérése

2.3.3 Fotogrammetriai felmérések

A fotogrammetria lehetőséget nyújt tárgyak helyzetének és alakjának fényképek alapján történő meghatározására. A fotogrammetriai kiértékelés eredményei a következő termékek lehetnek: mérőfénykép, térbeli koordináták, ortofotó, digitális felszín- és domborzatmodell és pontfelhő.

A kiértékelés eredményeinek a felhasználásával előállíthatók topográfiai, szintvonalas és kataszteri térképek, valamint helyszínrajzok tervezési feladatokhoz. A térbeli koordináták alapján távolság- és magasságmérések végezhetők, valamint terület- és földtömegszámításokra, illetve és dőlés- és mozgásvizsgálatokra van lehetőség.

A fotogrammetria segítségével készített térbeli adatokat széleskörben számos szakterület alkalmazza. Például: topográfia, geológia, talajtan, erdészet, mezőgazdaság, természetvédelem, régészet, műemlékvédelem katonai felderítés, közlekedésirányítás, balesetvizsgálatok, mérnökgeodézia, közlekedésépítés, közműhálózatok, vízgazdálkodás, településtervezés.

A felvétel készítésének helye szerint megkülönböztetünk földi, légi és űrfotogrammetriát.

Komplex matematikai algoritmusok számítógépes alkalmazásával a felvételek fotogrammetriai mérése és feldolgozása is lehetővé vált, például a közlekedési balesetekről készített felvételek feldolgozásakor. [Kraus, 1994.]

Az ortofotó alatt egy összeillesztett és perspektív torzulásmentes légifelvételt értünk. A geometriai jellemzők meghatározása mellett fontos a fénykép tartalmának meghatározása, azaz a fotointerpretáció, eredménye a tárgyak különböző jellemzők szerinti osztályba sorolása.

A fotogrammetriát a távérzékelésen belül a passzív eljárások közé soroljuk, ugyanis a természetes fényt használja mint energiaforrást.

Jelenleg a fotogrammetria nagy átalakuláson megy át. Az integráció és automatizmus magasabb szintre lépett a digitális feldolgozásban. A számítógépes grafika és a gépi látás átfed a fotogrammetriával, ez a terület rohamosan fejlődik, magával húzva a fotogrammetriát is. Látható, hogy az általánosan ismert informatikai világcégek számára is vonzó lett ez a terület. Az adatfelhasználás elterjedése rohamos és ez hatással van a fotogrammetriára, mint tudományra is. [Engler et.al, 2011.]

A fotogrammetria, távérzékelés és térbeli információs szolgáltatásoknak gyakorlatilag minden része megváltozott. A fejlődés jelentősebb eseményei:

- Megnövekedett érdeklődés a személyzet nélküli légi járművek, UAV (unmanned aerial vehicles) iránt.
- Az egy szenzorral rendelkező eszközről váltás történt az integrált rendszerekre. Például kamera és LiDAR érzékelők elhelyezése együttesen a drónon.
- A képek belső tájékozására, a távolság érzékelésre és az objektum felismerésre szolgáló módszerek jelentős fejlődése.
- Az elkülönített képfeldolgozásról váltás a pontfelhő feldolgozásra és a kombinált rendszerekre.
- A háromdimenziós eredményeket kiegészítette több lépékű és n-dimenziós adatmodellezés. Például térbeli és időbeli kapcsolatok és azok ábrázolása.
- A térképezést felváltotta a monitorozás és a változások követése a dinamikus térbeli szolgáltatások megvalósításához. [Heipke et.al. 2016.]

A szakterületet erőteljesen befolyásoló innovációs területek: az információ és kommunikációs technológia, a számítástechnika, a geoszenzor hálózatok, a térbeli adatinfrastruktúra, a big data koncepció, a felhőszolgáltatások, a szemantikus web, a dolgok internete (IOT) és a crowd sourcing (résztevékenységek tömeges kiszervezése). A felsorolt területek fejlődése a távérzékelés, a fotogrammetria és a térinformatika alapvető működési folyamatait változtatták meg. A felsorolt technológiák megjelennek a robotikától és a vezetést segítő rendszerektől kezdve egészen az állati viselkedés tanulmányokig és környezeti monitoringig, továbbá új adatgyűjtő eszközök kifejlesztését alapozták meg, mint például a 3D kamerák és az interferometrikus SAR érzékelők. Segítségükkel új módszerek jelentek meg a megbízható információ automatikus kinyerésére az adatbányászatnak és a gépi tanulásnak köszönhetően. [Heipke et.al. 2016.]

Az UAS (unmanned aerial system) gyakran drónnak nevezett eszköz a távérzékelési kutatások és gyakorlati alkalmazások népszerű témájává vált az elmúlt években, annak ellenére, hogy számos országban az UAS eszközök integrálása a nemzeti légtérbe még nem megoldott teljes mértékben. Az eszköz számos méretben létezik, de a távérzékelési szakma elsősorban a kis

rendszerekre koncentrál, amelyeket sUAS-nak jelöl. Az sUAS kategória legnagyobb megengedett tömege 25 kg.

A tipikus távérzékelési UAS eszközök gáz- vagy elektromos meghajtással, navigációs rendszerrel, képalkotó szenzorral és kommunikációs rendszerekkel rendelkeznek. Mind a merev, mind a forgószárnyas megoldások elterjedtek, valamint léteznek kombinált megoldások, amelyeket tiltrotoroknak neveznek.

A műholdas helymeghatározó rendszer és a MEMS (Micro-Electromechanical System) IMU (Inertial Measurement Unit) érzékelők fontos részei az UAS eszköz alaprendszerének a repülésirányítás és az útvonal alapú navigáció biztosításához. Sajnos a rendszer nem biztosít utólagos hozzáférést a nyers szenzoradatokhoz ezért csak az eszköz pozicionálására alkalmas. UAS rendszereken alkalmazható nagy pontosságú és könnyű GPS/IMU eszközök ugyan léteznek, de ezek az árai jelentősen meghaladják a teljes eszköz költségeit.

A repülési magasságot és az UAS távolságát leginkább a fedélzeti energiaforrás, a területre vonatkozó szabályzások és a drón és operátor közötti kommunikációs távolság határozza meg. A legszélesebb körben alkalmazott követelmények szerint a repülési magasság határa a 150 méter és a LoS (line-of-sight), azaz közvetlen rálátás biztosítása elengedhetetlen.

Ilyen körülmények között csak kis területre kiterjedő felmérések hajthatok végre és a teljesítmény és a kommunikáció biztosította határok kevésbé relevánsak. Ezzel szemben léteznek engedélyhez között szabályozások is, ekkor pilótajogosítvány és repülési terv engedélyeztetése szükséges. A pontos követelmények országonként eltérnek. A merevszárnyú UAS-sok esetében a repülési terv meglehetősen hasonlít a hagyományos repülőgépekhez készített tervhez, a forgószárnyas megoldás esetében szinte bármilyen pálya, beleértve lebegés, lassú mozgás is elfogadott.

Tekintettel a technológia megfizethetőségére, várhatóan növekedni fog a felhasználók száma és ezért rendkívül fontos a biztonságos üzemeltetés. A szakemberek két területre összpontosítanak, az egyik a légi ütközések elkerülése és a másik a repülésirányító hálózatok. Ez utóbbi alól kivételt képeznek az erősen automatizált rendszerek.

Rendkívül nagyszámú UAS-megoldás alkalmazható a távérzékelési céllal, kezdve a kulcsrakész termékektől és a saját összeállítású drónoktól a professzionális távérzékelés célú rendszerekig. [Toth and Jóźków, 2016.]

A munkafolyamat lényegében egy, a fényképezés általi gyors adatgyűjtésből és irodai feldolgozásból áll. Úgy tűnik, hogy a 3D modellezésnek van a legnagyobb prioritása, mivel ennek a területnek széles a felhasználási köre és ez a terület a fotogrammetria számára is új kihívásokat generál. [Engler, 2011.]

Egy felszállással viszonylag kis területet lehet felmérni, de ez a láthatósági vizsgálathoz elegendő.

A repülés megkezdése előtt ellenőrizni kell, hogy a jogszabályban megfogalmazott követelmények teljesülnek-e, például érvényes biztosítás, drón pilóta jogosultságai vagy a helyszín légtér engedély köteles-e. A repülés napjára vonatkozó időjárás előrejelzést is érdemes figyelemmel követni, esős és szeles időben nem lehet repülni, a napfény pedig a fényképeket befolyásolja.

A fotogrammetriai felmérések előkészítésének lényeges része a repülési terv összeállítása. Az elérni kívánt felbontás ismeretében kell meghatározni a repülési magasságot, ami majd a méretarányt határozza meg. A felmérni kívánt terület nagysága is befolyásolja a tervezést, ugyanis a drón akkumulátora meghatározza a repülési időt. Nagyobb repülési magasság választása esetén nagyobb terület térképezhető fel, azonban csökken a felbontás. Nagyobb területek felmérésekor érdemes pót akkumulátorral készülni. Ha túl sok idő telik el két részlet felmérése között, akkor a fényképeken eltérőek lesznek a fényviszonyok, ami rontja a végtermék minőségét.

A repülési terv része a repülési útvonal meghatározása, amely a szükséges átfedések biztosítása miatt lényeges. Ma már ehhez a művelethez számos, okostelefonra telepíthető applikáció érhető el, amelyekkel az egész repülés végig vezényelhető.

A repülés végrehajtását követi az illesztőpontok mérése, amelyek segítségével a felmérés megbízhatósága növelhető, elhagyásuk esetén a drón a saját navigációs célú GNSS vevője által meghatározott koordináták felhasználásával kapott modell nagyjából 25–40 cm pontosságú. Az illesztőpontok mérése geodéziai célú GNSS vevővel vagy hagyományos mérőállomással

végezhető. A kettő közötti különbség, hogy a GNSS vevővel mért pontok hibája egymáshoz képest véletlenszerűen 2-3 cm körül van. A mérőállomással meghatározott pontok koordinátáinak hibája azonos mértékben hat minden mért pont esetén egymáshoz képest, abszolút értelemben nagyon kicsi az eltérés. Ebből következik, hogy fotogrammetriai kiértékelés során megbízhatóbb modell készíthető a mérőállomással meghatározott illesztőpontok segítségével.

2.3.4 Felmérési módszerek összefoglalása

A megfelelő eszközök kiválasztásában segítséget nyújt az Egyesült Államok Szövetségi Autópálya Igazgatósága (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration FHWA) által kiadott tanulmány, amely az előző fejezetekben is bemutatott felmérési technológiákat ismerteti, összefűzi az úttervezési, -építési és fenntartási feladatokhoz való alkalmasságuk szerint. A 11. táblázat összefoglalja a térbeli felmérési technológiákat jellemző paraméterek, előnyök és hátrányok, valamint elérhető pontosság bemutatásával. [Mallela et.al., 2019.]

A megfelelő felmérési eljárás kiválasztásában több szempontot is érdemes figyelembe venni, a fő cél a láthatósági vizsgálat, a látómező felmérése, amelyhez ma már szép számmal rendelkeznek térbeli felmérési eljárások, amelyek többlet információt adnak a helyszíni szemrevételezés, mérőszalagos vagy pontonkénti felmérésekhez képest. A távérzékelési eljárások és eszközök az utóbbi években jelentős fejlesztéseken mentek keresztül, aminek köszönhetően alkalmazásukhoz mind az idő és szükséges szaktudási igények csökkentek. A felmérő eszköz megbízhatósága és ezzel összefüggésben a modell pontosságának hatása a vizsgálati eredményekre a későbbiekben kerül tárgyalásra. A pontosság mellett fontos tényező a felmérési idő, illetve a felmérni kívánt terület mérete és az eszköz bekerülési költsége.

11. táblázat: Felmérési módszerek összehasonlítása

LiDAR rendszer	Jellemző megbízhatóság (3D, 1- σ)	Jellemzők	Előnyök	Hátrányok
Airborne (ALS) Repülőgépre szerelt LiDAR	0,5 m (magassági értelemben 0,1 m.	Az érzékelő merevszárnyú repülőgépre szerelve mér, ezer métert meghaladó magasságból. Gyakori a módszer ötvözése fotogrammetriai felméréssel.	Nagy területek gyors lefedése. Egységes mintavételezés. Egyidejűleg képes más távérzékelési módszerekkel adatot gyűjteni.	Gyenge lefedettség függőleges felületen. Nehézkes repülésszervezés. Környezet-szennyező.
UAS (ULS) Pilóta nélküli légijármű (Drón)	0,1–0,3 m	Csak könnyű szenzor helyezhető el a rendszeren. Repülési magasság általában alacsonyabb mint 150 m.	Részletes információ a helyszínről. Előre programozott repülési tervek.	Rövid repülési idő miatt kis terület mérhető fel.
Kézi/háti-zsákos LiDAR (hhLS)*	0,1–0,3 m	Kézben vihető vagy hátizsákra szerelt mérőeszközök.	Stabil rendszerek. Beltéri és kültéri mérésekre is egyaránt alkalmasak. Egy emberes rendszerek.	Nagy terület esetén ez lassabb adatgyűjtési módszer.
Helikopter (HLS)	0,05–0,2 m	Az érzékelő helikopterre van szerelve, ami a talajhoz közelebb képes repülni.	Hasonló az airborne rendszerhez, de közelebb repül a talajhoz.	Repülésszervezés komplikált lehet.
Mobil lézer-szkenner (MLS)	0,05–0,3 m	Közlekedési eszközre szerelt érzékelő, ami a jármű mozgása közben kinematikusan gyűjti az adatokat.	Nagy lefedettség utak mentén.	A forgalom akadályozhatja a felmérést. Korlátozott az útvonal követése.
Statikus lézer-szkenner (TLS)	0,005–0,05 m	Műszerlábra szerelt eszköz. Jellemzően ötvözik fényképek készítésével. Kis területek felmérése alkalmas.	Nagy felbontás, nagy pontosság, rugalmasság, beltéren és kültéren egyaránt használható,	Lassabb, mint más technológiák. Nem egységes mintavételezés.

*A táblázat készítése óta (2015) megjelentek nagyobb pontosságú kézben hordozható vagy hátizsákos mobil térképező rendszerek, melyeknek pontossága 2-3 cm.

2.4 Autonóm közlekedés

A gépjárművezetés rendkívül összetett feladat. A technikai kezelés önmagában is rutint igényel, hiszen egyszerre kell kezelni a pedálokat, kormányt, váltót és ugyan ritkábban, de a műszerfalat is. Mindeközben máshova kell figyelni, a teljes látótérhez hozzátartoznak a visszapillantó tükrök. A gépjármű irányítását jelentősen befolyásolja a környezet és a KRESZ szabályozás. Mindezek mellett napi szinten alakulnak ki olyan közlekedési szituációk, amelyekre egyedi döntéseket kell hozni. Szinte elképzelhetetlen, hogy ezt a rendkívül komplex feladatot műszerekre részben vagy teljes mértékben rábízzuk. Ugyanakkor könnyen belátható, hogy a gépjármű fizikai irányítása megfelelő információk ismeretében sokkal pontosabbá tehető vezérléssel. Például folyamatos sáv- és sebességtartás, amire nincs hatással a monotonitás vagy a fáradtság. Mindezek mellett a KRESZ következetes betartására is számíthatunk automatizáltság esetén. Például elsőbbség megadása, sebesség határok betartása, gyalogosok átengedése.

Az önvezetés emberi elfogadtatásában a technikai megvalósíthatósági kérdések mellett még számos jogi, felelősségvállalási és informatikai biztonsági kérdések is szerepet játszanak. Az előbbire koncentrálva két problémát nehéz feloldani: egyik az emberi látás, az észlelés és az ezen alapuló felismerést helyettesítő technológiák iránti bizalom növelése, másik probléma a nem szabályozott közlekedési szituációk kezelése. Mindkét kérdésben számos fejlesztés folyik, amelyeket folyamatosan tesztelnek. A tesztek szimulált környezetben, elzárt tesztpályákon és valós forgalmi helyzetekben történnek.

Az önvezetés számos várható előnye között fogalmazták meg, hogy a várható kezdeti magas közlekedési konfliktusszámok gyorsan csökkenni fognak, az autonóm járművek elterjedésével kevesebb közlekedési baleset várható.

Az autonóm járműveket a külföldi szakirodalom gyakran AV (Autonomous Vehicles) rövidítéssel, az ember vezette gépjárművet CV-ént (Conventional Vehicles) jelölik. Ezeket a rövidítéseket célszerűségből a továbbiakban átveszem.

A Petrović et al. 2020 tanulmány kaliforniai, tesztelési fázisban lévő AV-k baleseti adatait elemezi. A 2015 és 2017 között történt 300 balesetet alapján, összehasonlítva a CV adatokkal az alábbi következtetéseket vonták le:

- Csökkentek a gyalogos és oldalütközések.
- A tesztjárművek bevezetésével elkerülték a jobbkéz szabály miatti ütközéseket.
- Az utoléréses ütközések száma megnövekedett, amelyek a hagyományos járművezetők nem megfelelő sebesség és követésitávolság választása miatt történtek, ugyanis nincsenek hozzászokva az AV-k dinamikus jellemzőihez (gyorsulás és lassítás) követés során.

A következő alfejetekben az önvezető járművekkel kapcsolatos fontos témaköröket tekintem át. Amikor autonóm járművekkel foglalkozom a disszertációban, akkor alapértelmezetten az teljes önvezetést értem alatta. A teljes önvezetés megvalósulásához, azonban még számos gépjármű, infrastruktúra és kommunikációs hálózati fejlesztés szükséges.

2.4.1 Autonómia szintjei

Az Autóipari Mérnökök Társasága (SAE) (Society of Automotive Engineers) öt önvezetési szintet különböztet meg, amelyek a vezetést segítő rendszerektől kezd és a sofőr nélküli járművekig osztályoz:

0. szint: Nincs vezetést segítő rendszer
1. szint: vezetést segítő rendszerek
2. szint: Részben önvezetés
3. szint: Feltételes önvezetés
4. szint: Magas szintű önvezetés
5. szint: Teljes Önvezetés

„– A gépjárművezető felügyeli a közlekedési környezetet

0. szint – Level 0, No Automation: a hagyományos autó teljes mértékben emberi irányítás alatt áll, nincs automatizáltság, vezetési környezetet az ember figyeli.

1. szint – Level 1, hands on, Drive Assistance: az autó teljes mértékben emberi irányítás alatt áll, autóvezetés támogatása kormányzás vagy fékezés/ gyorsulás esetében, vezetési környezetet az ember figyeli.

2. szint – Level 2, hands off, Partial Automation: az autó teljes mértékben emberi irányítás alatt áll, részleges automatizáltság, az autóvezetés-támogató rendszer a kormányzási és a fékezési/gyorsítási műveleteket egyszerre átveheti, vezetési környezetet az ember figyeli.

– Az automatizált rendszer felügyeli a közlekedési környezetet.

3. szint – Level 3, eyes off, Conditional Automation: feltételes automatizáltság, az autót teljes mértékben ember irányítja, az autóvezetés-támogató rendszer a kormányzási és fékezési/gyorsítási műveleteket egyszerre átveheti, vezetési környezetet az automata rendszer figyeli.

4. szint – Level 4, mind off, High Automation: magas szintű automatizáltság, az automata autóvezetőrendszer irányítja az összes dinamikus vezetési műveletet, vezetési környezetet az automata rendszer figyeli.

5. szint – Level 5, steering wheel optional, Full Automation: teljes automatizáltság, az automata autóvezető-rendszer folyamatosan irányítja az összes dinamikus vezetési műveleteket, vezetési környezetet az automata rendszer figyeli, az autó ember nélkül is közlekedhet.” [Mester, 2017]

2.4.2 Autonóm járművek kommunikációja

„Az autókba telepített szenzorokat alapvetően két típusra oszthatjuk. Az egyik csoportba tartozók az autó alkatrészeinek állapotát monitorozzák, az autó üzemeltetését segítik: visszajelzést adnak annak állapotáról.

A környezeti érzékelők a vezetéssegítő rendszert látják el információval, a környezet megfigyelésére összpontosítanak: sávjelzéseket értelmeznek, időjárási paramétereket gyűjtenek, közelben közlekedő autókat észlelnek, mérik azok gyorsulását stb.

Vannak viszont olyan helyzetek, ahol szenzorokkal együtt sem tud egy autó biztonságosan áthaladni. Ilyen például egy beláthatatlan kereszteződés: nincs ugyanis több releváns információja egy emberi sofőr által begyűjthetőnél, hiszen a szenzor sem tudja, hogy mi van a „kanyar mögött”, a legmodernebb megoldások sem látnak át házakon. Viszont, ha van autó a kanyarban, akkor az akár „szólhatna” is arról, hogy érkezik, és mi nem mennénk ki elé: megszületik tehát az igény a kommunikációra. Ha egy autó nem is tud mindent az útszakaszról, többen, kooperatív módon együttműködve, az adatforrásaikat (szenzoradataikat) megosztva

egészen pontos képet alakíthatnak ki az útszakasz állapotáról, forgalmáról, jellemzőiről. Ez a V2V, azaz Vehicle-to-Vehicle, autók közötti kommunikáció, amely a járművek együttműködésével hoz létre kooperatív tudatosságot: minél több forrás, annál több és megbízhatóbb a leszűrt információmennyiség. Azonban míg a járművek egymás közötti „beszélgetése" megoldhatja a helyzetet bizonyos szituációkban, addig más esetekben be kell vonni az infrastruktúrát is, pl. a közlekedési lámpákat, meteorológiai állomásokat, változtatható jelzésképű táblákat, mivel az útinfrastruktúra üzemeltetője olyan információkat birtokolhat, melyeket nem lehet előre jelezni, melyeket nála pontosabban senki sem tudhat. Itt válik szükségessé a V2I és I2V (Vehicle-to-Infrastructure, és fordított irányban), tehát az infrastruktúra-jármű vagy jármű-infrastruktúra kommunikáció." [Petkovics et. al., 2020]

Járműkommunikációval kapcsolatos rövidítések:

- V2X: Kommunikáció a jármű és minden más entitás között (Vehicle to Everything)
- V2I: Kommunikáció jármű és infrastruktúra között (Vehicle to Infrastructure)
- I2V: Kommunikáció infrastruktúra és jármű között (Infrastructure to Vehicle)
- V2N: Kommunikáció jármű és hálózat között (Vehicle to Network)
- V2V: Kommunikáció jármű és jármű között (Vehicle to Vehicle)
- V2P: Kommunikáció jármű és gyalogos között (Vehicle to Pedestrian)
- V2D: Kommunikáció jármű és eszköz között (Vehicle to Device)

2.4.3 Autonóm járművek érzékelői

A jármű helyes navigációjához szükséges a jármű környezetének felmérése és folyamatos észlelése, melyben a LiDAR szenzorok mellett az alábbi technológiák együttesen szolgáltatják az információkat a környezetről. A következő technológiák ezt a feladatot különféle hullámhossz-tartományban végzik,

- Radar: Olyan érzékelő rendszer, amely rádióhullámokat használ a tárgyak távolságának, irányszögének vagy sebességének meghatározására.
- Ultrahang: Az ultrahangos eszközöket tárgyak felismerésére és a távolság mérésére használják.

- Digitális kamera: Megfelelő mennyiségű tanulókép alapján mesterséges intelligenciát alkalmazó programok képesek a tárgyak osztályozására, például: közlekedési táblák, sávok, járművek és gyalogosok azonosítása.

A kamera előnye a nagy felbontás és az osztályozás képessége, de sötétben és rossz látási viszonyok között nem alkalmazható. Távolságmérés ugyan lehetséges fényképek alapján, de egyelőre kevésbé megbízható. A LiDAR távolság mérése 1-2 cm pontos és teljesen sötétben is tud mérni, hiszen saját lézerjelet bocsájt ki. A LiDAR pontfelhőjét is lehet osztályozni, de ez komplikáltabb feladat és a felbontása sem éri el a fénykép részletességét, valamint a felvétel könnyen zajos lehet. A radar jól kiegészíti a kamera és LiDAR érzékelőket, mert nem zavarja az esetleges rossz időjárás és jó a sebességmérésben is. A hatékonyság növelésének érdekében célszerű a három érzékelőt együttesen alkalmazni kiegészítve a V2X koncepcióval.

A WCP 2016-os jelentésében megfogalmazták a vezetéshez szükséges, látáshoz és érzékeléshez kapcsolt képességeket, amelyek alapján megvizsgálták az egyes szenzorok alkalmazhatóságát, erősségeit és gyengeségeit. A figyelembe vett szempontok alapján úgy találták, hogy a kamera, radar és LiDAR eszközök együttes alkalmazása kulcsfontosságú, minden AV járműnek szüksége van ezeknek valamilyen kombinációjára.

A 12. táblázat összefoglalja az érzékelők képességeit a vezetés végrehajtásához szükséges kompetenciák alapján és összehasonlítja az emberi képességekkel.

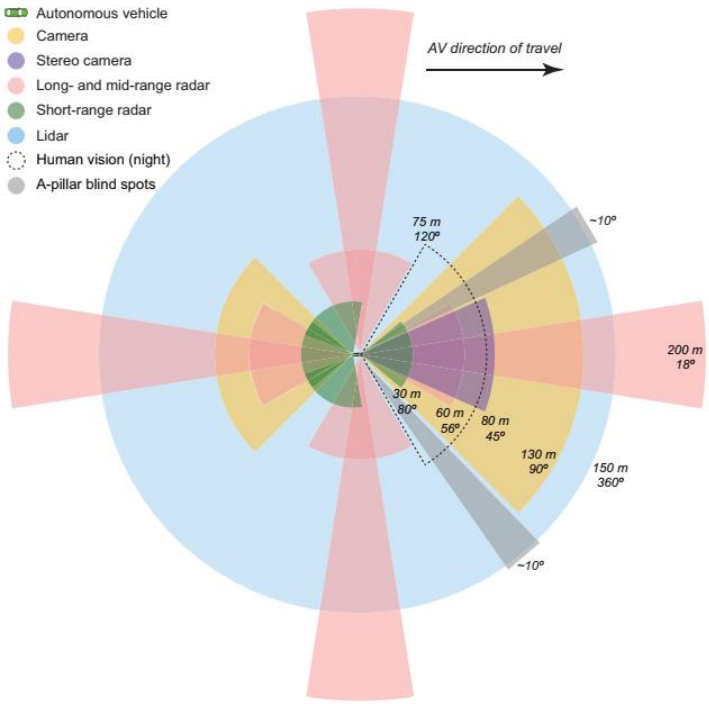
A táblázat alapján a szenzorok fúziójával és a kommunikációs rendszerek összehangolásával kialakítható olyan önvezetésre alkalmas rendszer, amely akár az emberi gépjármű vezetési képességeket is képes lesz túlszárnyalni.

A 14. ábra egy példa arra vonatkozóan, hogy a jármű különböző pontjain elhelyezett érzékelők mekkora térrészeket képesek lefedni. Természetesen nem minden fejlesztő használja az összes műszertípust.

A kék kör egy 360 fokos forgó LiDAR által detektált terület 150 méteres sugárral. Ez a típus talán a legköltségesebb érzékelő. A másik LiDAR típus a SSL (Solid-State LiDAR, szilárd testű, azaz nem tartalmaz mozgó alkatrészeket), előnye az ára és a hatótávolsága. Hátránya, hogy csak egy adott szögben képes mérni.

12. táblázat: Önvezető jármű szenzorjain alapuló képességek összehasonlítása az emberi képességekkel, Schoettle, 2017 és WCP 2016 tanulmányok alapján átdolgozva

Szempontok	Ember	Radar	LiDAR	Kamera	Szenzor-fúzió	Önvezető és V2X
Objektumok érzékelése	Jó	Jó	Jó	Megfelelő	Jó	Jó
Objektumok azonosítása	Jó	Gyenge	Megfelelő	Jó	Jó	Jó
Távolságbecslés v. távolságmérés	Megfelelő	Jó	Jó	Megfelelő	Jó	Jó
Élek azonosítása	Jó	Gyenge	Jó	Jó	Jó	Jó
Sávtartás	Jó	Gyenge	Gyenge	Jó	Jó	Jó
Látótávolság v. hatótávolság	Jó	Jó	Megfelelő	Megfelelő	Jó	Jó
Működés kedvezőtlen időjárási viszonyok között	Megfelelő	Jó	Megfelelő	Gyenge	Jó	Jó
Működés sötétben vagy gyenge megvilágítottságnál	Gyenge	Jó	Jó	Megfelelő	Jó	Jó
Kommunikáció a többi közlekedővel és infrastruktúrával	Gyenge	–	–	–	–	Jó



14. ábra: Érzékelt területek [Schoettle, 2017.]

A sárga és lila területek a kamerák által megfigyelt részek. A távolságméréshez szükséges, hogy egyidőben két kamera felvételének megfelelő átfedettsége (lila) meglegyen, ezt biztosítják a sztereokamerák. Az ábrán viszonyításképpen szaggatott vonallal van jelölve az emberi szem látótere éjszakai fényviszonyokhoz tartozó távolsággal, valamint szürkével az A oszlopok okozta holtterek.

Összességében egymást kiegészítő szenzorok és azoknak az elhelyezésével vizsgálható a jármű többszáz méteres környezete. A cél, hogy az önvezető járművek bármilyen infrastruktúrát biztonságosan és hatékonyan tudjanak használni, akár kizárólagosan, a saját méréseikre hivatkozva.

Annak ellenére, hogy ezek az eszközök pontosabban fel tudják becsülni a tereptárgyak helyzetét, meg tudják különböztetni a sávokat, járműveket, közlekedési lámpákat, mégis nehézséget okoz, ha sok objektum van egymáshoz közel, vagy ha az érzékelt pontok sokasága mozog egyszerre együtt, mert gátolja a felismerést és elkülönítést. Nehezen különíti el a lágy tárgyakat a kemény anyagúaktól, például egy a levegőben repülő zacskót is ugyanolyan akadálynak vél, mintha fémből volna, és annak megfelelően reagál.

3 AKADÁLYOZOTT CSOMÓPONTOK LÁTHATÓSÁGI VIZSGÁLATÁNAK FEJLESZTÉSE

A fejezet célja, hogy meghatározzam a láthatósági vizsgálatok során alkalmazandó mérések és elemzések módszereit és definiáljam a vizsgálandó geometriai jellemzőket.

3.1 Láthatóságot befolyásoló tényezők áttekintése

A tényezők egy része a konkrét csomóponttól független, hatásuk leírásához természeti jelenségek, fizikai összefüggések, járműkialakítások és statisztikán alapuló eredmények szükségesek. A második csoportba a felméréssel meghatározható paraméterek kerülnek. Természetesen nem lehet éles határt húzni az alábbi két csoport között, hiszen vannak olyan esetek, amikor együttesen jelentkeznek és fejtik ki hatásukat. Például amikor egy csomópontban az évnek egy bizonyos szakaszában és adott időpontban éppen úgy süt a nap, hogy el tudja vakítani a közlekedésben résztvevőt. Ez a példa egyben természeti jelenség és a vonalvezetés együttes hatása. A következő felsorolásban összegyűjtöttem a láthatóságot befolyásoló tényezőket:

- Kitakarási szempontból jelentőséggel azok a tárgyak bírnak, amelyek beleesnek a látóháromszög területébe. Terepi felmérést követően hatásuk mértéke meghatározható.
- Lényeges tényező a csomóponti geometria, a vízszintes és magassági vonalvezetés kialakítása és a látóháromszögben maguk a mozgó járművek is látási akadályt jelentenek.
- A csomópont közvetlen környezete is meghatározó szerepű, érdemes figyelembe venni, hogy van-e óvoda, iskola esetleg bármilyen gyalogos forgalmat vonzó létesítmény a közelben. Az autóvezető által nem várt helyzetben feltűnő figyelmetlen gyalogosok is veszélyforrások lehetnek.
- A jármű kialakítása hatással van a látótérre, például a szemmagasság, az ablakok mérete és elhelyezkedése, az „A oszlop” által kitakart terület vagy a holttér. A visszapillantó tükrök ugyan növelik a látóteret, de ezek elsősorban a körülvevő járművekről adnak tájékoztatást, különböző manőverek végrehajtásában segítik a sofőrt, azonban az előttünk lévő csomópont láthatósági kérdését elhanyagolható mértékben befolyásolják.

- A csomópont láthatósága eltérő nappali és éjszakai fényviszonyok között, például sötétben a városi kivilágított csomópontról kevesebb geometriai információt szerez a járművezető, viszont a kivilágított autókat és azoknak helyzetét, mozgását könnyebb átlátni.
- Az évszakok változása egyrészt a növényzet miatt befolyásolja a csomópontok láthatóságát, hiszen télre a fák és bokrok eldobják leveleiket, így a nyári teljes takarást jelentő növényzet részben átláthatóvá válik. Másrészt az évszakokra jellemző időjárási jelenségek (köd, havazás, vihar) negatívan hatnak a fényviszonyokra és útállapotra.
- Továbbá az ember szeme, azaz látóképessége is meghatározó szerepű. A láthatóság problémájának teljes értékeléséhez szükséges megismerni a látásra vonatkozó jellemzőket, például mekkora a két szemünk által belátható tér mind magassági, mind vízszintes értelemben, az éjszakai és a nappali látás közötti fizikai különbséget, látásélesség, azon távolság értékét, ahol két egymáshoz közel lévő tárgyat még el tudunk különíteni. A látóterünk szélein nem látunk élesen, de a mozgást könnyen észleljük. A haladási sebesség növekedésével az élesen látott térrész beszűkül.
- Az emberi tényező is fontos szerepet játszik, a megfigyelőképességre hatással van a fáradtság, hangulat, vezetési rutin, utastársak beszélgetése, reklámplakátok, technikai eszközök (rádió, telefon, navigációs eszköz). A vezetéshez szükséges figyelem folyamatos fenntartása mindenki számára kihívás.

Ez a felsorolás valószínűleg még kibővíthető, azonban rámutat a probléma sokrétűségére és arra, hogy teljes képet kapjunk a közúti csomópont láthatósági viszonyairól, valójában egy komplex átfogó tanulmány készítését igényelné minden csomópontra vonatkozóan, amely több tudományág ismereteit együttesen igényli.

A tényezők áttekintését követően fontosnak tartom lehatárolni, hogy a disszertációmban elsősorban a geometriai elemekkel, a láthatósági akadályok felmérési módszereivel, vizsgálatával és hatásainak számszerűsítésével foglalkozom.

A második fejezetben bemutatott csomóponti láthatóságra vonatkozó előírások és szabványokban szereplő paraméterek segítségével egy vizsgált csomópontra egyértelműen ki

tudjuk szerkeszteni a látóháromszöget, azt a kritikus területet, amelyet elvileg biztosítani szükséges a konfliktusmentes keresztezés végrehajtásához.

Amennyiben a látóháromszög területén belül található bármilyen objektum, hazai előírások szerinti 0,8–2,5 méteres magasságokban akkor azt láthatóság szempontjából akadálynak tekintjük. Ami azt is jelenti, hogy a csomópont nem felel meg a biztonsági előírásoknak. Ilyenkor két eset lehetséges: felszámoljuk az akadályt, vagy forgalomtechnikai beavatkozást hajtunk végre, ami lehet elsőbbséggel rendelkező útvonal sebességkorlátozása vagy a forgalomszabályozás megváltoztatása. Például „Elsőbbségadás kötelező" helyett „Állj! Elsőbbségadás kötelező" tábla kihelyezése.

Láthatósági akadályokként a látóháromszögek által lehatárolt területen belül lévő állandó terepi objektumokat vagy ideiglenes akadályokat tekintem. Ideiglenes akadályok lehetnek maguk a közlekedő járművek, gyalogosok, útszélén parkoló járművek vagy éppen az ürítésre váró hulladéktároló edény.

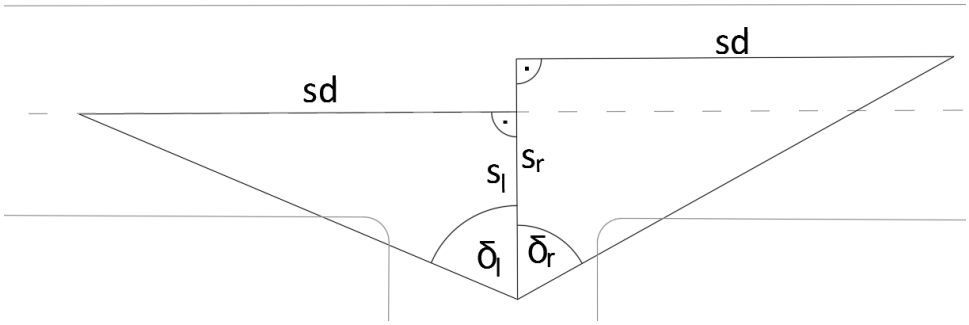
3.2 Közúti csomópontok beláthatósága

Ahhoz, hogy megfelelő mértékben tájékozódjunk a forgalmi szabályozásról és a többi közlekedő helyzetéről a csomópontot teljes mértékben élesen át kell látni, amelyhez gyakran szükséges a fejünket elmozdítani mindkét irányban. Amennyiben ez a tér nagyobb, vagy a csomóponti ág becsatlakozási szöge jelentősen eltér 90 foktól, akkor előfordul, hogy a járművezetőnek az egyéni kényelmességi határain is túlmenően kell elfordulnia, azaz a nyakán lévő izmok feszülnek vagy a törzsével is el kell fordulni, amely már kényelmetlen és időigényes folyamat, tehát egy elágazás kialakításánál törekedni kell arra, hogy a látóháromszöget be lehessen látni kényelmesen, jelentősebb mértékű fej elfordítás nélkül.

Az új-zélandi vasúti átjárókra vonatkozó tervezési előírások, ezt a szöget elsőbbség adás esetén bal irányban 95 fok, jobb irányban 110 fokra határorra meg. STOP tábla esetén balra 110, jobb irányban pedig 140 fok. [NZTA, 2012.]

Közúti csomópontokra vonatkozóan nem ismerünk ilyen előírást, de a meghatározott látótávolságok alapján ki tudjuk számítani az egyes látótávolságokhoz tartozó látószögeket (4). A derékszögű becsatlakozás esetében a 15. ábra szerint alakul a látószög, ahol a látótávolságot

sd-vel jelöltem. A jobb és bal oldali háromszög nem szimmetrikus, mivel a látótávolság geometriai helyének meghatározásakor az e-UT 03.03.21-es előírást vettem alapul.



15. ábra: Látószög derékszögű becsatlakozás esetén [saját szerkesztés]

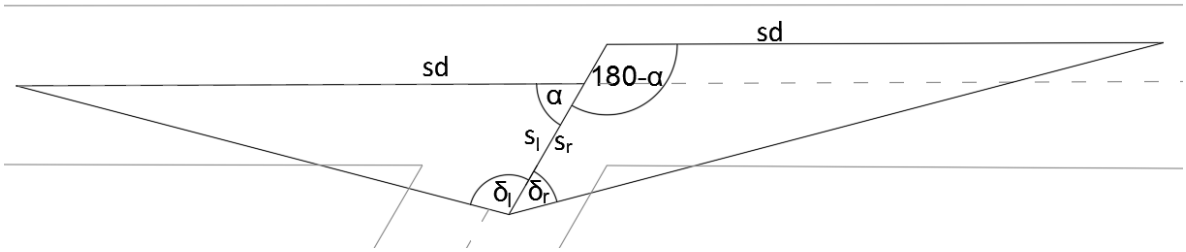
$$\delta_l : \tan^{-1}\frac{sd}{s_l}\ , \delta_r : \tan^{-1}\frac{sd}{s_r} \qquad (4)$$

ahol

- sd = látótávolság (m),
- s_l = távolság a járművezető szemétől a felezővonalig (m),
- s_r = távolság a járművezető szemétől a távolabbi forgalmi sáv feléig (m).

A látómező bal és jobb oldala eltér a rövidebbik befogó hosszának tekintetében. A jobb oldal belátásához több forgalmi sávon kell keresztül nézni, így nagyobb a befogó (s_r) hossza, ezért a két oldalra vonatkoztatva külön kell meghatározni a látószöget, majd együttes értéküket.

Abban a helyzetben, ha a becsatlakozó út derékszögtől eltérő szögben csatlakozik, akkor a számítás bonyolódik (5), derékszögű háromszögek helyett szabálytalan háromszögek keletkeznek (16. ábra). A számításhoz szükséges a két irány által bezárt szög ismerete vagy meghatározása, ezt a szöget nevezik becsatlakozási szögnek (α) amelynek segítségével koszinusz és szinusztételek felhasználásával számolhatunk.



16. ábra: Látószög α szögű becsatlakozó út esetén [saját szerkesztés]

$$\delta_l = 180° - (\alpha + \sin^{-1}\frac{s_l \cdot \sin\alpha}{\sqrt{sd^2 + s_l^2 - 2 \cdot sd \cdot s_l \cdot \cos a}})$$
$$\delta_r = \sin^{-1}\frac{sd \cdot \sin(180 - \alpha)}{\sqrt{sd^2 + s_r^2 - 2 \cdot sd \cdot s_r \cdot \cos(180 - a)}} \quad (5)$$

ahol

- sd = látótávolság,
- s_l = távolság a járművezető szemétől a felezővonalig,
- s_r = távolság a járművezető szemétől a távolabbi forgalmi sáv feléig,
- α = az utak csatlakozási szöge.

Az s_l és s_r oldalhosszak számításánál figyelembe kell venni, hogy nem elegendő a sávszélességek összeadása, mivel járművezető nem áll szemben az elsőbbséggel rendelkező úttal, hanem azzal egy adott szöget zár be, tehát az ő szemszögéből a csomópont sávjai szélesebbek. A távolságtorzulás mértéke szögfüggvényekkel számítható.

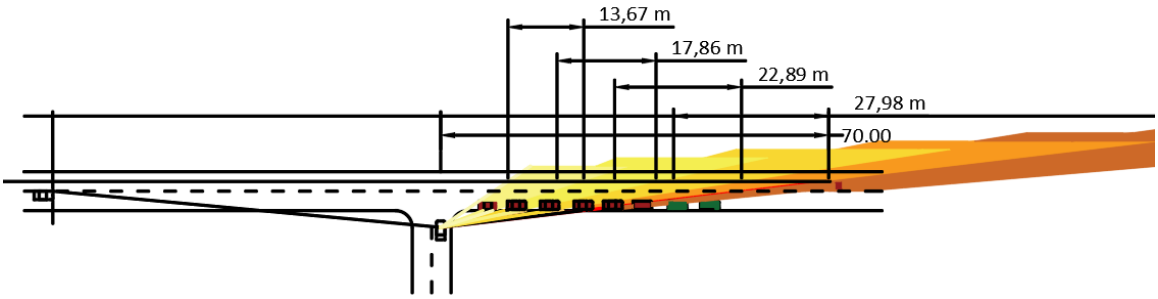
13. táblázat: Látószögek alakulása három méterre az út szélétől, hét méteres útszélesség

km/h	Látótávolság	Derékszögű becsatlakozás			60 fokos becsatlakozási szög		
		δ_l	δ_r	Σ	δ_l	δ_r	Σ
30	30	77,8°	74,6°	152,4°	107,0°	47,2°	154,2°
50	70	84,7°	83,3°	168,0°	114,8°	54,0°	168,8°
90	170	87,8°	87,2°	175,0°	117,9°	57,4°	175,3°

A 13. táblázatban néhány jellemző látótávolsághoz kiszámítottam a látószögek értékét, az első esetben derékszögű, majd 60 fokos becsatlakozású útszakasz esetében. Összehasonlítva az újzélandiak által meghatározott értékekkel megállapítható, hogy derékszögű becsatlakozás esetén kényelmes határokon belül alakul az a látótér, amit végig kell pásztáznia a járművezetőnek. Láthatjuk, hogy 60 fokos becsatlakozás esetén már 50 km/h sebességű útszakasz keresztezése esetén is már jelentős fejmozgatás szükséges.

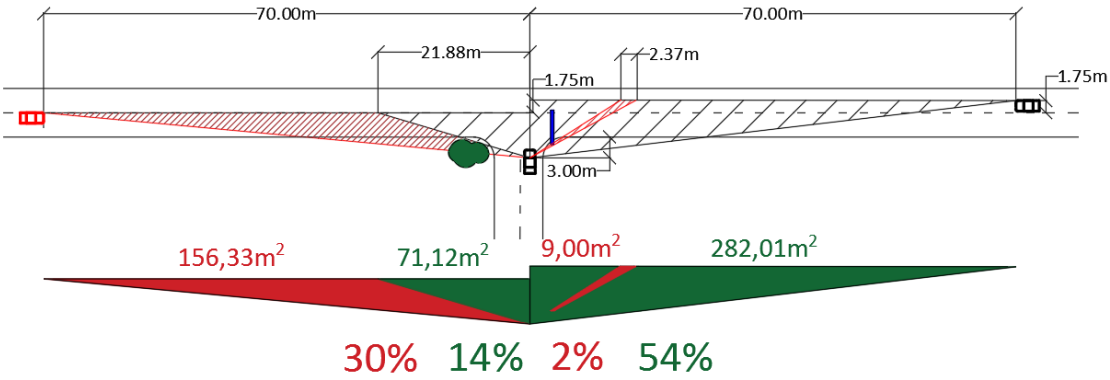
3.3 Látási akadályok hatásainak jellemzése

A 17. szemléltető ábra egy elvi példa, amit az út szélén álló járművek kitakarása okozhat. Ha feltételezzük, hogy az elágazás szélétől megtartva az öt méteres távolságot, személygépkocsik parkolnak, akkor az ábra szerint alakulnak az általuk kitakart látótávolságok. Az a gépjármű, amelyik a legközelebb esik a csomóponthoz, összességében sokkal kevesebbet takar, mint amelyik a látóháromszög befogóját keresztezi. A csomóponthoz közelebb eső jármű által kitakart területet citromsárgával jelöltem, a legtávolabbat sötét narancsszínnel (negyedik jármű az ábrán). A különböző színekkel jelölt területek átfedésben vannak, a vizsgált csomóponti ág teljes kitakarását okozva. A valós körülmények között az ilyen esetekben a járművezetőnek lehetősége van előrébb gurulni.



17. ábra: Út szélén, szabályosan parkoló járművek takarása

A 18. szemléltető ábrán a kitakart látótávolság és terület segítségével az elindulási látómezőre ható akadályok számszerű hatását szemléltetem. Bal oldalra egy bokorszerű akadályt tettem, amely következtében a 70 méteres látótávolság 22 méterre csökken, a látómező területét pedig 30 százalékkal csökkenti. Az ábra bal oldalán látómezőbe belépő jármű ebben a szituációban nem látható. A látómező jobb oldalára egy oszlopot rajzoltam, amelynek takaró hatása sokkal kisebb, a látótávolságból mindössze nem egész két és fél métert vág ki, a jobb oldalon belépő jármű pedig észlelhető.

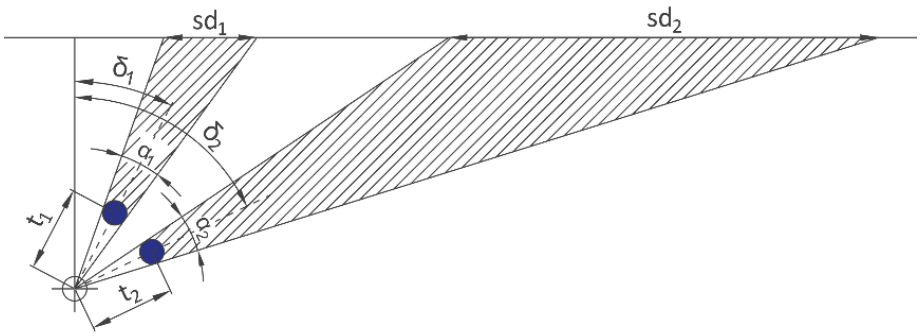


18. ábra: Látómező akadályokkal

A tereptárgyak által kitakart terület és a látótávolság természetesen függ az objektum méretétől, alakjától és elhelyezkedésétől. Két ugyanakkora akadály közül a takarás mértéke nem csak a járművezető szemének a távolságától függ, hanem attól is, hogy mekkora látószög alatt észleljük őket.

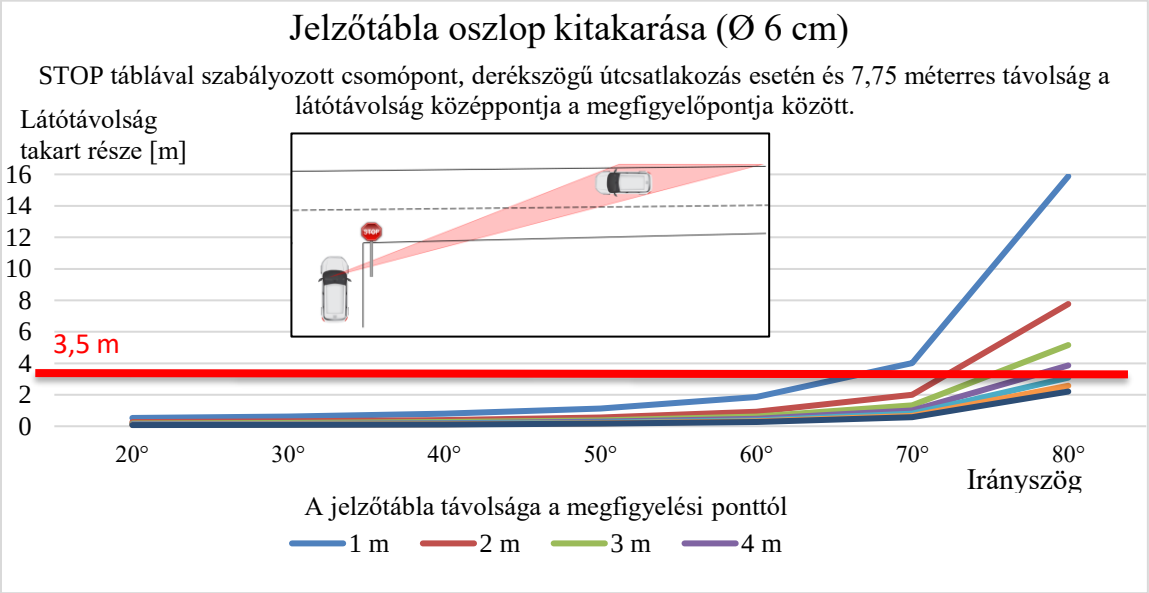
Kritikus kitakarásokat könnyen előidéznek olyan esetek, amikor a tárgy közeli, nagyobb irányszög alatt észlelhető, ezért kiszámoltam és grafikonokon ábrázoltam, hogy melyek a kerülendő irányszög és látószög együttesek.

Az értékek meghatározásakor figyelembe vettem az alárendelt útszakasz becsatlakozási szögét, a közlekedési sávok szélességét. Az eredményeket elindulási és közeledési szituációk látómezeire számoltam, valamint külön-külön tüntettem fel a látómező jobb és bal oldalához tartozó paramétereket, mert eltérő becsatlakozási szögek esetén jelentősek az eltérések a két oldal között.



19. ábra: Látószög növekedésének kitakarása

A 19. ábrán a két kék kör azonos méretű akadályokat szimbolizál, amelyek egyenlő távolságra vannak az észlelési ponttól, eltérő kitakarásokat okoznak, amelyiknek nagyobb irányszöge (δ), annak nagyobb a takaró hatása.



20. ábra: KRESZ-tábla oszlopának kitakarása

A 20. ábra egy egyszerű példát mutat be, egy 6 cm átmérőjű KRESZ tábla oszlopa térbeli elhelyezése és a kitakarások közti összefüggéseket mutatja. A feltételezett csomópont STOP táblával van szabályozva. A függőleges tengely a kitakarásokat, a vízszintes tengely az egyes irányokat mutatja 10 fokos lépésenként. A kezdő irány (0°) a személygépjármű hosszanti tengelyével esik egybe. A különböző színek a gépjármű és a tábla közti vizsgált távolságokat mutatják. Minél közelebbi és egyre nagyobb irányszögeknél növekszik a tárgy által okozott kitakarás. A 3,5 méteres (személygépjárműnyi) hosszt két méterről 75° alatt elvileg teljesen képes kitakarni.

A gyakorlatban egy járművezető talán sosem észleli ezt a jelenséget, mivel a megfigyelt jármű mozog, csak egy pillanatra marad takarásban és az emberi agy kiegészíti a hiányzó pillanatot. Összességében a vékony tábla nem tud jelentős kitakarást okozni, de jó példa a tárgyak kitakaró hatásának elemzésére.

Ahogy a bemutatott példa vízszintes értelemben vizsgálja a láthatóságot, úgy a hazai és nemzetközi láthatóságra vonatkozó előírások is csak horizontális értelemben követelik meg a

látóháromszög meglétét, holott a láthatóság egy térbeli probléma. Ha megnézünk egy fát vagy egy KRESZ táblát, akkor az alakjuk eltérő, vertikális értelemben változik, felfelé kiszélesednek, tehát egy háromdimenziós vizsgálat eltérő eredményt adhat.

3.4 Mérőszámok kialakítása

A látási akadályok megfelelő számszerűsítésének érdekében a következő síkbeli paramétereket tervezem megvizsgálni:

- Látótávolság takart része méterben (t) és százalékos arányban (t%)
- Látómező takart része négyzetméterben (T) és százalékos arányban (T%)
- Látószög takart része
- A szükséges térrészből az egyes látási akadályok által kitakart szögértéke (α) és a teljes látószög százalékos aránya (α%) tereptárgyak láthatósági szempontú értékelésére használható.
- Akadályok irányszöge (δ)

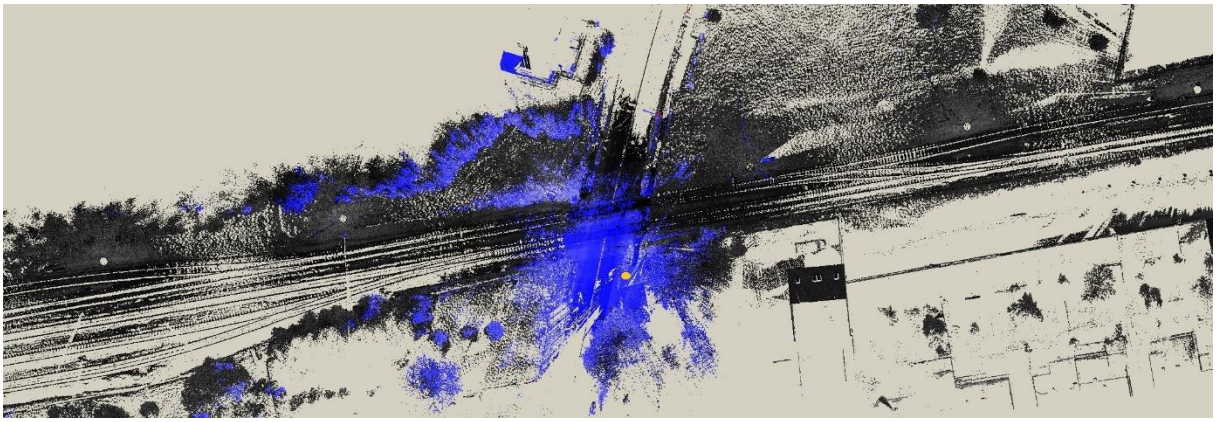
A síkbeli paraméterek a 14. táblázat szerint alakulnak a 16. ábrához tartozó helyzetben. Százalékos arányokban terület és a látótávolság takart arányaiban nincs eltérés.

14. táblázat: Láthatósági paraméretek bemutatása

Láthatósági indikátorok	Bokor	Oszlop	Teljes látómező
t	48 m	2.4 m	140 m
T	152,5 m^2	9,0 m^2	519,4 m^2
α	12°	4°	168°
δ	-73°-85°	-77°-61°	-85° - +83°
t	32,30%	1,70%	100%
T	29,40%	1,70%	100%
α	6,50%	2,40%	100%

A közelmúltban kifejlesztett felmérési technológiák, mint a lézerszkennelés és a digitális fotogrammetria alkalmasak arra, hogy egy valós csomópontból háromdimenziós adatokat gyűjtsenek a láthatóság vizsgálatához. Bár az irodai munka hosszabb, az előkészítési folyamat nagy feldolgozási kapacitást igényel, de a feladatok jelentős része automatizálhatók. További

nehézséget jelent a manuális elemzés, a pontfelhő-feldolgozó szoftverek nem specializálódtak az összetett rajzolási feladatokra. A 21. ábrán HDS 6200-as típusú lézerszkennerrel rögzített vasúti átjáró pontfelhő modellje látható. A kék pontok a vizsgált szemszögből láthatóak, amit a sárga kör szimbólum jelöl. Az elemzéshez a Cloud Compare szoftvert és a rejtett pontok eltávolítására szolgáló plugint használtam. [Katz et.al., 2007.]

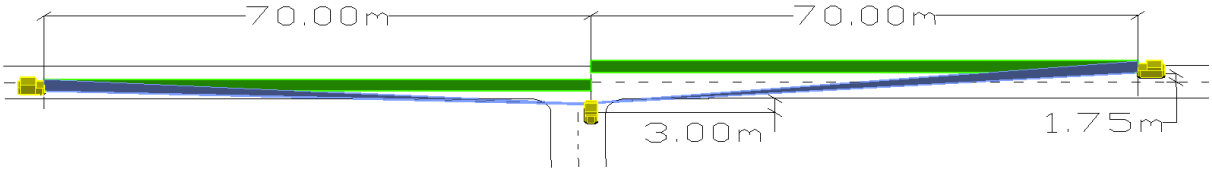


21. ábra: Láthatósági elemzés pontfelhős modellben Cloud Compare szoftverrel

Mivel szeretném a láthatóságot térben is vizsgálni, ezért az előbbi paraméterek térbeli kiterjesztései az alábbiak szerint alakulnak:

– Referencia felület kitakart része, területben kifejezve

A látótávolság helyén függőlegesen elhelyezett sík (22. ábra), amely alkalmas a látási akadályok térbeli alakjának takarási hatásait figyelembe venni, a hazai előírásoknak megfelelően 0,8 és 2,5 méter magasságok között. A síkon kitakart terület lesz az elemzések eredménye. Ha a területek szélességben és magasságban is meghaladják az észlelendő közlekedésben résztvevőt, akkor a kitakarást okozó tereptárgy látási akadálynak tekinthető.

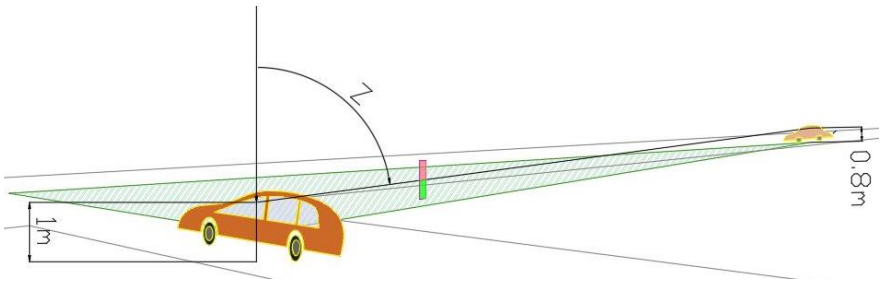


22. ábra: Referencia sík

– Irányszög és zenitszög (δ, z)

A térbeli irányt két síkbeli szögérték határoz meg, az irányszög (δ) és a zenitszög (z) (23. ábra). A kettő együtt egy térbeli egyenes irányát határozza meg. Az irányszög megegyezik a

síkbeli változat értékével, a megfigyelő és az akadály közötti szögtávolsággal. A zenitszög a vertikális tengely és az objektum függőleges vonala közötti szög. Jung et.al. 2018 térbeli láthatósággal foglalkozó cikkében a láthatósági akadályokat detektáló egyenest hasonlóan írja le és „line of sight”, azaz látóvonalként említi.



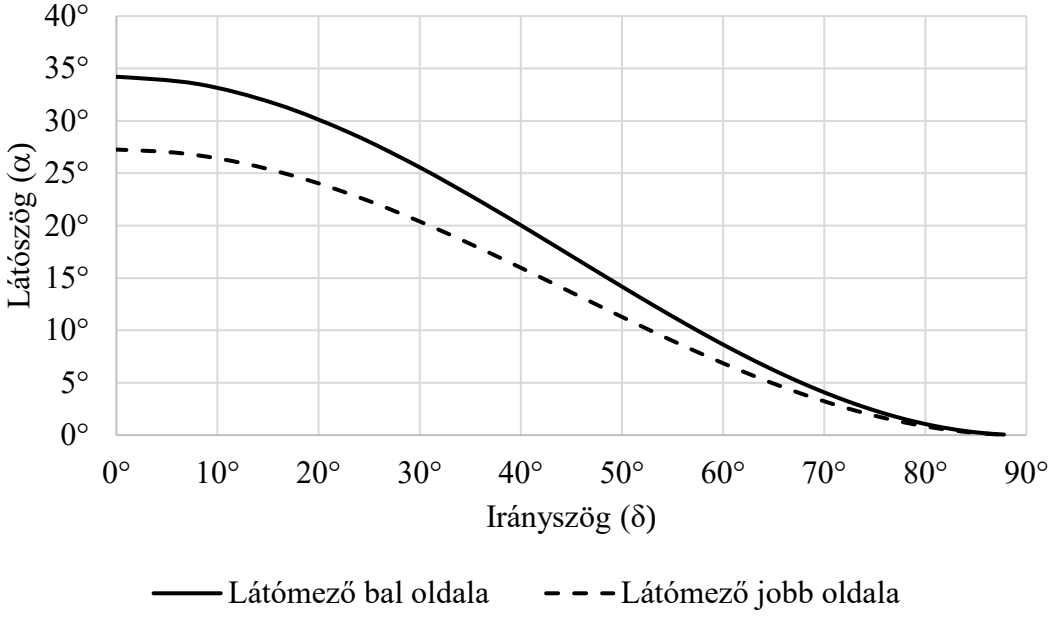
23. ábra: Zenitszög

3.5 Kritikus kitakarások meghatározása

A látótávolság takart része négy paramétertől függ, amelyek ismeretében számítható. Az első a látótávolság vonalának közepe és a megfigyelési pont távolsága. Szükséges ismerni még a kitakarási szögértéket (α) és az irányszöget (δ), valamint a közúti csomópont becsatlakozási szögét.

Ezt a számítást megfordítva meghatározhatók azok az irányszögek és kitakarási szög értékpárosok, amelyek képesek kritikus hosszúságban kitakarást okozni a látótávolságon. A kritikus látótávolság azt a hosszúságot jelenti, amely képes teljesen elrejteni egy másik járművet a vizsgált ponttól. Kerékpáros vagy gyalogos-átkelőhely esetén a kritikus hossz rövidebb. A paraméterből kettő a kereszteződés geometriájától függ, ezek a megfigyelési pont és a látótávolság tengelyének távolsága, valamint a csomóponti ág becsatlakozási szöge.

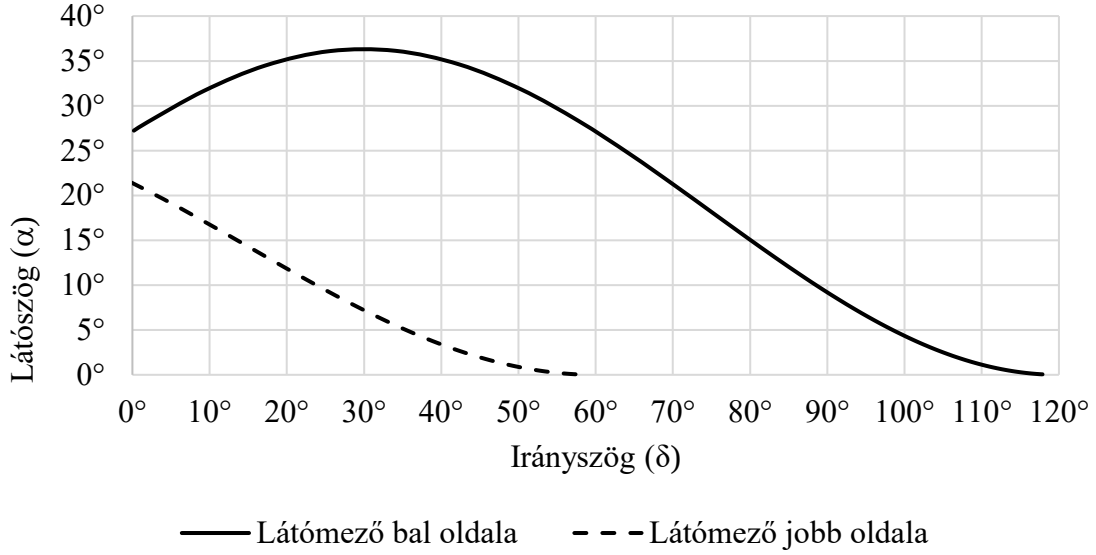
Amennyiben feltételezem, hogy kétirányú és egysávos utak kereszteződését vizsgáljuk, ahol a sávszélesség 3,5 méter, a becsatlakozási szög pedig derékszögű, akkor a 24. ábrán látható diagram mutatja azokat az értékpárokat, amelyek pontosan négy méter hosszú kitakarást képesek okozni elindulási helyzet esetében.



24. ábra: Kritikus négy méteres kitakarást okozó „δ” és „α” párosok elindulási helyzet és derékszögű becsatlakozás esetén

A diagramon külön görbével jelöltem a jobb és a bal oldali felét a látómezőnek. Az eltérést egyrészt az okozza, hogy a két forgalmi irány esetén eltérő távolságban van a látótávolság tengelye a megfigyelési ponttól (5. és 6. ábra). Jobb irányban a távolabbi forgalmi sáv közepén húzódik, a bal oldalon pedig az elválasztó vonal mentén. Másrészt a megfigyelési pontot az alárendelt út jobb oldali sávjában kell felvenni. Ez az eltérés fokozódik az egyre élesebb becsatlakozási szögek esetében. Amennyiben a becsatlakozási szög az előírás szerint maximálisan megengedett 60°, akkor jelentősebb eltérés keletkezik a látómező bal és jobb oldala között (25. ábra).

A valós kereszteződések geometriai paraméterei igen változatosak, ezért az első digitális melléklet egy Microsoft Excel táblázat, amelyben a fenti számítások a bemenő paraméterek tetszőleges változtatásával elvégezhetők. A változtatható paraméterek a keresendő kritikus távolság hossza, az alárendelt út becsatlakozási szöge 60 és 90 fok között, a forgalmi sáv szélessége, és a megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől.



25. ábra: Kritikus négy méteres kitakarást okozó „δ” és „α” párosok elindulási helyzet és 60°-os becsatlakozási szög esetén

A bemutatott esetekben mindig a 3,5 méteres sávszélességgel számoltam az útügyi műszaki előírás alapján. A gyakorlatban ettől eltérések lehetnek, a sávszélesség növelése a láthatóságra kedvező hatással van, mert csökkenti a kritikus kitakarást okozó látószögek értékét. Az országutak esetében alkalmazott 3,5 m és az autópályák 3,75 méteres sávszélességei között 1,2° eltérés van látószögben derékszögű becsatlakozási szög esetében.

Ennél jelentősebb különbség alakulhat ki, amennyiben többsávos utakat vizsgálunk, mert a távolabbi sávokra kedvezőbb szögértékek alatt láthatunk rá. Amennyiben többsávos csomópontokra szeretnénk elvégezni a számításokat, akkor a forgalmi sáv szélessége paraméter helyett a kereszteződés szélétől és a vizsgált sáv tengelyének középvonaláig tartó távolságot kell megadni.

A disszertáció 1. melléklete a gyalogosokra (0,4 m), kerékpárosokra (1,5 m) és személygépjárművekre (4 m) vonatkoztatott számításokat tartalmazza.

3.6 Következtetések

Megállapíthatjuk, hogy a jelenlegi gyakorlat szerint szerkesztett látóháromszögeken alapuló felmérések nem adnak teljes képet a csomópont beláthatóságát illetően. Az ilyen vizsgálat a következő hiányosságokat hordozza magában:

- Kizárólag síkbeli adatok alapján kezeli a láthatóságot, a csomópont magassági viszonyait, vagy az akadályok magassági alakjának különbségeit nem kezeli.
- Elsősorban gépjárművekre koncentrál, a gyalogosok és kerékpárosok láthatósága nincs vizsgálva.
- Mozgó akadályok esetleges takarási hatásait sem vizsgálja.
- A vizsgálat értékelése igen/nem alapú. A csomópont belátható vagy nem, nincs köztes eredmény.

3.7 1.tézis

Felülvizsgáltam a csomóponti láthatósági követelményeket. Bevezettem a kritikus kitakarási hossz fogalmát, ami egy személygépkocsi méretének felel meg. Meghatároztam a csomóponti láthatóság síkbeli mérőszámait, melyek a látótávolság kitakart része, a látószög takart része és az akadályok irányszöge. Meghatároztam a kritikus kitakarási értékekhez tartozó irányszög és látószög párokat, amelyek fölött már az okozott kitakarás meghaladja a kritikus értéket.

A kritikus kitakarási hossz alkalmasabb a csomópont beláthatóságának értékelésére, mint a látómezőben található akadályok méretére vonatkozó korlátozások. A látótávolság takart részének hossza (sd_1, sd_2) ugyanis nemcsak az akadály méretétől, hanem más tényezőktől is függ. Ezek a következők:

- Látószög takart része (α_1, α_2)
  A szükséges térrészből az egyes látási akadályok által kitakart szögérték.
- Akadályok irányszöge (δ_1, δ_2)
  Két azonos távolságban lévő, azonos látószög alatt látszó tárgy közül, amelyik a látótér szélén helyezkedik el, az nagyobb kitakarást eredményez.

Ezen mérőszámok segítségével határozható meg a látótávolság takart részeinek a hossza.

Kritikus kitakarásokat könnyen előidéznek nagyobb irányszög mellett észlelt közeli tárgyak, ezért kiszámoltam és grafikonokon ábrázoltam, hogy melyek a kerülendő irányszög és látószög együttesek.

Az értékek meghatározásakor figyelembe vettem az alárendelt útszakasz becsatlakozási szögét és a forgalmi sávok szélességét. Az eredményeket elindulási és közeledési szituációk látómezeire számoltam, valamint külön-külön tüntettem fel a látómező jobb és bal oldalához tartozó paramétereket, mert 90 foktól számottevően különböző becsatlakozási szögek esetén jelentősek az eltérések a két oldal között.

Fentiekre személygépjárművek esetén mutat példát a 25. ábra, melyet 4 m kritikus hossz, 60° becsatlakozási szög, 3,5 m forgalmi sáv szélesség és az úttest szélétől 3 m-re elhelyezkedő megfigyelési pont esetére mutatok be. Az ábrán a görbe feletti terület jelöli azokat az irányszög és látószög párokat, amelyek esetén kritikus kitakarás jön létre. A görbe alatti szögértékekkel jellemezhető objektumok nem okoznak kritikus kitakarást.

A tézishez kapcsolódó publikációk:

1. Magyari, Z., Koren, C.: Visibility studies at roundabouts entries. Pollack Periodica, 14(3) (2019), pp. 63–74.
2. Magyari, Z., Koren, C.: A közúti csomópontok beláthatóságát befolyásoló tényezők. Kutatási jelentés: Kutatási jelentés 1, Universitas-Győr Nonprofit Kft. (2019) pp. 42–53.
3. Magyari, Z., Koren, C.: Visibility indicators for intersection safety investigations Konferenciakiadvány: 4th International Conference on Traffic and Transport Engineering. Belgrád (2018), pp. 751–757.
4. Magyari, Z.: Közlekedési csomópontok láthatósági nehézségei és a balesetek összefüggései. Műszaki Katonai Közlöny, 2018/1 (2018), pp. 49–59.

4 ESETTANULMÁNYOK KÖZLEKEDÉSI CSOMÓPONTOK LÁTHATÓSÁGI FELMÉRÉSÉRŐL

Ebben a fejezetben mutatom be a pontfelhős mérési technológiák segítségével elvégzett láthatósági elemzések folyamatát a felméréstől a kiértékelésig.

4.1 Alkalmazott távérzékelési mérőeszközök

A méréseket a 2.3 fejezetben tárgyalt felmérési módszerek közül a földi statikus lézerszkennerrel (TLS) hajtottam végre. Összehasonlításként két helyszínen kiegészítettem két másik technológiával. Egyik esetben drónnal történt légi fotogrammetriai felméréssel (UAV), a második esetben autonóm jármű LiDAR adatait kaptam meg, amelyre mobil lézerszkennerként tekintettem (MLS). A három eszközt a 26. ábra mutatja.

26. ábra: Távérzékelési mérőeszközök, balra a Lézerszkenner, középen a drón és jobb szélén a Nissan Leaf [JKK, 2022.], amelyre LiDAR érzékelőket szereltek

A földi lézerszkenner minden esetben a Leica HDS6200-as típusú műszer volt, amelynek hatótávolsága 79 méter és helyzetmeghatározási pontossága 5 milliméter 0,4 és 25 méter között, 9 milliméter 50 méterig. Fáziskésésen alapuló távolságmérési módszerrel mér, ezért rendkívül gyors az adatrögzítés, egy másodperc alatt maximum 1 016 727 pontot képes felmérni. Öt előre meghatározott felbontási mód közül választhatunk, amely meghatározza az eredmény pontsűrűségét és a várható felmérési időtartamot, valamint az állomány méretet. A felbontásokat a 15. táblázat foglalja össze.

A légifelvételek elkészítéséhez DJI Phantom 3 Standard, 1216 gramm súlyú drónt használtam. A drón rendelkezik beépített műholdas helymeghatározó rendszerrel, amely segíti az irányítást és menti a fényképek rögzítésének pozícióját. A drón kamerája 12 megapixeles felvételeket rögzít, amelyek 4000 x 3000 felbontású képek méretű. A kamera stabilitását háromtengelyű gimbal rendszer biztosítja. Maximum becsült repülési idő 25 perc.

15. táblázat: Leica HDS6200-as lézerszkenner választható mérési felbontásai [Leica, 2010.]

Felbontás	Szögfelbontás	Mérési időtartam	Pontok közti szünet 25 méteres távolságban
„Preview” előnézet	0,288°	24”	125,7,6 x 125,7 mm
„Middle (4x)” közepes	0,072°	1’39”	31,4 x 31,4 mm
„High (8x)” magas	0,036°	3’18”	15,9 x 15,9 mm
„Super High (16x)” szuper magas	0,018°	6’37”	7,9 mm x 7,9 mm
„Ultra High (32x)” ultra magas	0,009°	13’15”	3,9 mm x 3,9 mm

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutató központ és az MTA SZTAKI által közös fejlesztésű, egyre nagyobb fokú autonómiával rendelkező járműve által rögzített LiDAR alapján is készítettem láthatósági elemzést. A járműre több LiDAR érzékelő is volt szerelve, amelyek együttes felmérését kaptam meg. A Járműipari Kutatóközpont a 16. táblázatban felsorolt LiDAR eszközökkel és a láthatósági elemzés szempontjából érdekes technikai paraméterekkel rendelkeznek. A távolság, a látószög és a felbontás paraméterek segítségével vizsgálható, hogy egy ismert méretű objektum, ami adott távolságban és irányban helyezkedik el, a szenzorhoz képest észlelhető-e.

16. táblázat: A Járműipari Kutató Központ LiDAR eszközei a felmérés során

Szempont	OS1-64	OS1-128	Velodyne VLP16	SICK LMS111
Magassági felbontás	64 csatorna	128 csatorna	16 csatorna	1 csatorna
Vízszintes felbontás	512, 1024, vagy 2048	512, 1024, vagy 2048	0,1-0,4°	0,5°; 0,25°
Távolság	120 m	120 m	100 m	20 m
Magassági látószög	45° (±22,5°)	45° (±22,5°)	30°	-
Magassági látószög felbontása	0.35°-2.8°	0.35°	2°	-
Pontosság	±0,7 - 5 cm	±0,7 - 5 cm	± 3 cm	± 3 cm
Pont/másodperc	1310720	2621440	300000	
Horizontális látószög	360°	360°	360°	270°

4.2 Felmért helyszínek bemutatása

Öt győri helyszínen (17. táblázat) történt felmérést használtam az elemzésekhez.

17. táblázat: Felmérési helyszínek

Helyszín	Mérési módszerek	Műszerek	Forgalmi szabályozás	Felmérés dátuma
Kálóczy tér	TLS	Leica HDS6200	elsőbbségadás	2017.03.21
Kodály Zoltán utca	TLS	Leica HDS6200	elsőbbségadás	2015.05.21
Zólyom utca	TLS	Leica HDS6200	elsőbbségadás	2012.04.17
Szabadhegyi vasúti átjáró	TLS	Leica HDS6200	sorompó	2017.10.28
	UAV	DJI -Phantom 3 - standard		
Széchenyi István Egyetem – belső utca	TLS	Leica HDS6200	elsőbbségadás	2021.03.12
	MLS	Szenzorfúzió: OS1-64, OS1-128, Velodyne VLP16, SICK LMS111		

4.2.1 A Kálóczy téri körforgalom

Bár a körforgalom biztonságos csomóponttípusnak tekinthető, mégis jelentősen megnöveli a közlekedési konfliktusok kialakulásának lehetőségét, ha a körforgalomban gyalogos és kerékpáros átvezetések is vannak. Mindezeken felül a Kálóczy téri körforgalom egyik kijáratához közel egy buszmegálló is van. Megfigyeltük, hogy ha egy busz várakozik, akkor jelentős látási akadályt jelent, ami megnehezíti a 27. ábrán nyíllal jelzett irányból érkező járművek becsatlakozását.

27. ábra: Kálóczy téri körforgalom (Forrás: © OpenStreetMap contributors)

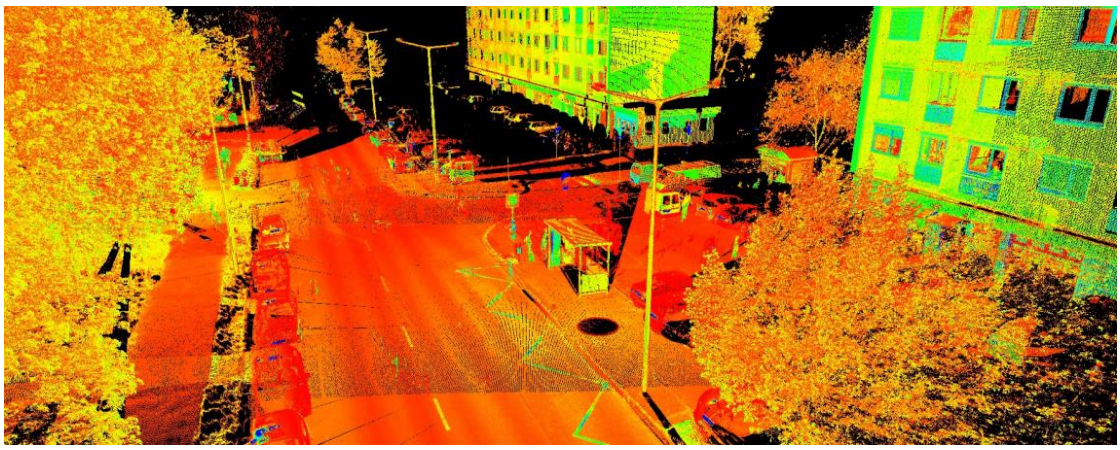
Másik nehézség, hogy az északi csomóponti ág felől jelentős a járműforgalom és a geometriai kialakításnak köszönhetően észak felől érkezve viszonylag minimális irányváltoztatással lehet keresztülhaladni a körforgalmon, ami kisebb sebességcsökkentést követel meg. A négy csomóponti ág felmérését Leica HDS6200 lézerszkennerrel 12 műszerállásból rögzítettük, áganként 3-3 műszerállást létesítettünk. A műszer mozgatását és a jeltárcsák kihelyezését dr. Németh Attila és Hegyi Pál kollégáim segítségével végeztük és megközelítőleg négy órán keresztül tartott a munka, amelyet a reggeli csúcsforgalomban 9 órakor kezdtünk. A nagy forgalom miatt minden álláspontot kétszer rögzítettünk, hogy a jeltárcsák kisebb eséllyel legyenek takarásban.

A műszer felbontási kategóriái közül minden álláspontban a High (nagy) felbontást alkalmaztunk.

4.2.2 Kodály Zoltán utca

Az adyvárosi háromágú csomópont alárendelt ága egy lakótelepi parkoló csatlakozása (28. és 29. ábra), amely elsőbbségadással szabályozott. Az elemzésekhez itt két álláspontból rögzített pontfelhő állt rendelkezésemre, amelyet Superhigh (Szupernagy) felbontási módban mértünk. Ez a helyszín tipikus példa az út szélén parkoló járművek kitakarásának bemutatására.

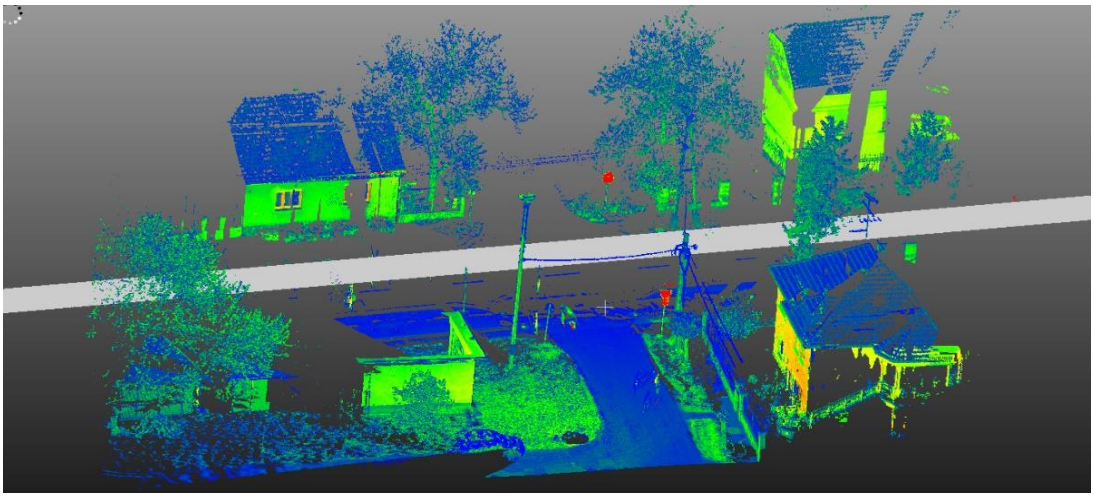
28. ábra: Kodály Zoltán utcai helyszín



29. ábra: Kodály Zoltán utcai helyszín pontfelhője

4.2.3 Zólyom utca

A helyszín példa a kertesházas övezetre, a látómezőt jobb oldalról egy tömör kerítés csökkenti (30. ábra), bal oldalon pedig egy trafó épülete nehezíti a Hédervári útra történő csatlakozást. A felmérést három műszerállásból mértük fel, nagy felbontással.



30. ábra: Zólyom utcai helyszín

4.2.4 A szabadhegyi vasúti átjáró lézerszkenneres és fotogrammetriai felmérése

A szigorú szabályozások ellenére a vasúti átjárók esetében is rengeteg olyan helyszín van, ahol akadályozott a láthatóság.

Ismert problémás helyszín volt az átépítés előtt a Győr-Szabadhegy vasútállomás előtti közúti átjáró. A 31. ábra Google műholdas felvételén látható, hogy a déli irányból tekintve jobb oldalról növényzet és az épület, balról növényzet akadályozza a tisztánlátást. Az átjárót drónnal

készített fényképekből fotogrammetriai és lézerszkenneres úton előállított pontfelhők segítségével értékeltem. A felmérés idején a biztonságos végrehajtás érdekében a MÁV mérnökei biztosították az átjáró környezetét és jelezték, ha jönnek a vonatok. A mérés megszervezésében és végrehajtásában dr. Fischer Szabolcs segített.

31. ábra: Győr, Szent Imre úti vasúti átjáró (Forrás: Térképadatok © Google, 2018)

A vasút mentén 350 métert nyolc álláspontból rögzítettünk a lézerszkennerrel, majd ezt követően, drónnal, szabadkézi irányítással készítettem el a fényképeket.

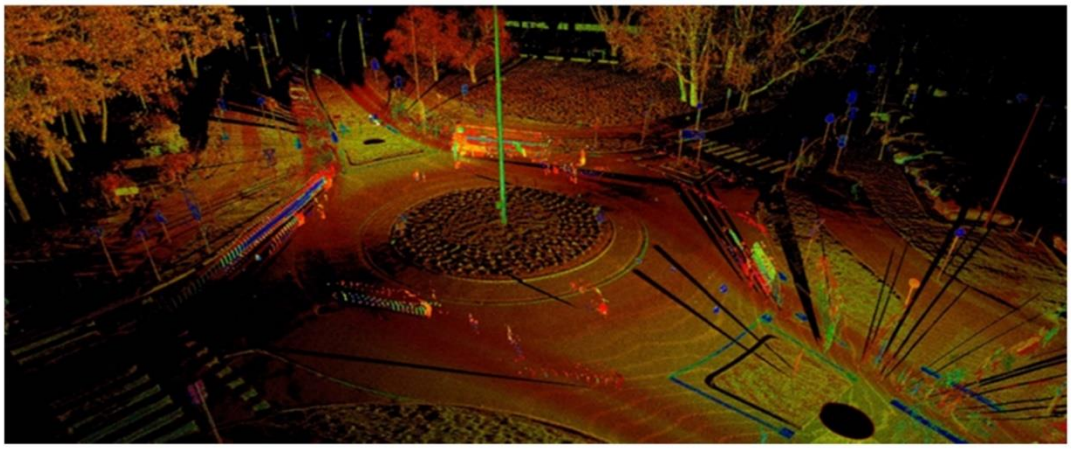
4.2.5 Széchenyi István Egyetem – belső utca

A vizsgálathoz előzetesen egy pontfelhős állományt kaptam, amit a Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont által fejlesztett jármű rögzített egy, az egyetem körüli tesztútján. Az elemzéshez ezen az útvonalon választottam ki a 32. ábrán látható csomópontot.

32. ábra: „T” Csomópont a Széchenyi István Egyetem területén

A felmérést ebben az esetben is a Leica HSD 6200-as típusú műszerrel végeztük. A csomópont rögzítéséhez három álláspontot létesítettünk, hogy legyen elegendő biztonsági ráhagyás. A műszer felbontási kategóriái közül három álláspontból kettő esetében Superhigh (szupernagy) és egy esetben High (nagy) felbontást alkalmaztunk.

4.3 Csomópont láthatósági felmérése és a pontfelhő előkészítése



33. ábra: Lézerszkennerrel felmért csomópont térbeli modellje

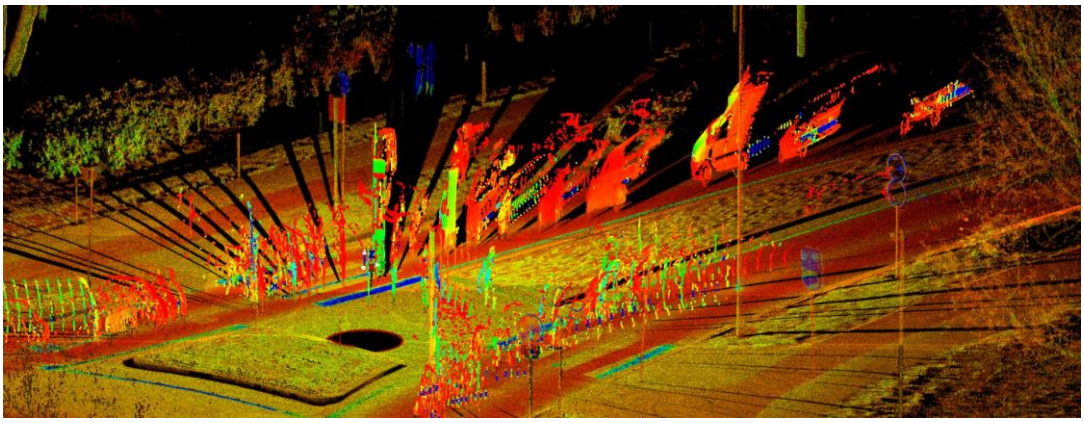
A lézerszkenneres felmérés szempontjából az egyik lényeges kérdés a lézersugár távmérő képességének határa. A 33. ábrán a műszer helyét egy fekete kör jelzi, amelyhez a közeli felületekről sűrűbb pontfelhő keletkezett, amíg a távolabbi térrészeken csökkent a pontsűrűség. A Leica HDS6200-as típusú lézerszkenner hatótávolsága 79 méter, azonban, ha aszfaltról folyamatos felületre van szükség, akkor célszerű 35–40 méterenként álláspontot létrehozni, ugyanis az aszfaltburkolatnak rendkívül rossz a reflektivitása. A műszer képes teljes mértékben elfordulni mind horizontális és vertikális értelemben is, így csak a műszerlábak által takart területeket nem méri.

Több álláspont esetén a feldolgozás része a műszerállások összeillesztése, azonos koordinátarendszerbe való transzformálása, amely kapcsolópontok segítségével vagy újabb eszközök esetén már felméréskor automatikus regisztrációval történhet. A kapcsolópontok olyan pontok, amelyek mindkét állásponton jól láthatóak és egyértelműen azonosíthatóak. Ilyen pontokat kereshetünk a pontfelhőben, mint például épületsarkok, csatornafedelek vagy burkolati jelek jellegzetes pontjai. Pontosabb eredményt jeltárcsák (34. ábra) alkalmazásával érhetünk el.

34. ábra: Leica jeltárcsa

A felmérést érdemes alacsony forgalmú időpontban elvégezni, ugyanis, ha egy jármű elhalad a felméréskor a műszer előtt, akkor arra az időszakra kitakarja a felmérendő területet a szkenner elől. A 35. ábrán a járműveket szellemképként látjuk és az általuk takart terület a felmérésből is kimaradt.

A pontfelhő összeillesztését és a zajok szűrését követően kapott virtuális térben bárhová helyezhetjük a látáspontunkat, vagy a modell bármely pontján el tudunk helyezni geometriai objektumokat. Ezáltal alkalmassá válik közlekedési helyzetek kialakítására és vizsgálására.



35. ábra: A mozgásban lévő járművek által keltett zaj

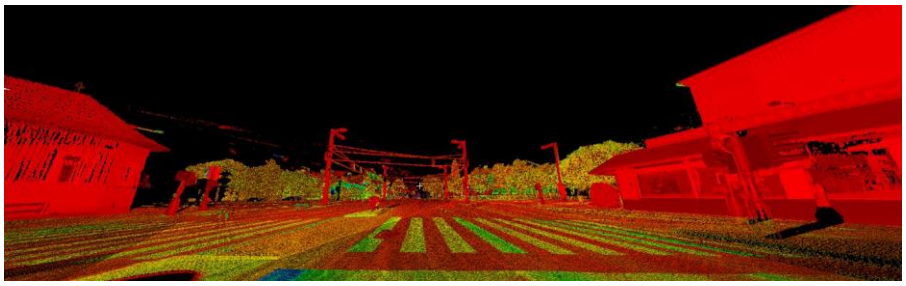
4.4 Takarási ábrák térbeli előállítási módszerek fejlesztése

A műszergyártok által forgalmazott pontfelhőt megjelenítő szoftverek elsősorban az előzetes feldolgozás céljára vannak kifejlesztve. alapvető szerkesztő funkciókkal. A pontfelhő összeillesztését és a zajok szűrését követően kapott virtuális térben bárhová helyezhetjük a

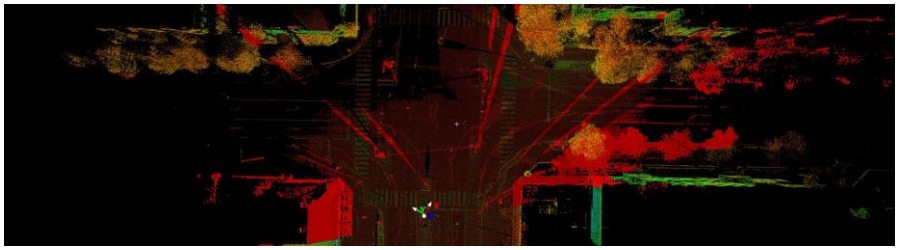
látáspontunkat és szűréseket tudunk végrehajtani. Az első vizsgálatot a lézerszkennerhez tartozó szoftverrel végeztem, majd a későbbiekben áttértem a CloudCompare 2.8.1 szoftverre.

4.4.1 Láthatósági szegmentáció kézi kijelöléssel

A HDS6200 műszerhez tartozó Leica Cyclone program elemző és szerkesztő parancsainak segítségével láthatósági vizsgálatok elvégzésére is lehetőséget nyújt. A szoftverben lehetőség van perspektív megjelenítésre, aminek köszönhetően lehetőség nyílik az általunk választott nézőpontból szétnézni a pontfelhőben. Majd a kiválasztás eszköz segítségével egy adott nézőpontból takaró objektumokat megjelölni, és az általuk kitakart teret meghatározni, ekkor a szoftvernek azt a tulajdonságát használhatjuk ki, hogy ha egy nézőpontból egy adott részletet lekerítünk, akkor az összes mögötte elhelyezkedő pontot is kijelöli. Ebből következik, hogy ha a nézőpontból körbe minden takaró objektumot körbe kerítünk és kijelölünk, akkor az általuk takart részek is kijelölésre kerülnek (36. ábra). Ha az így kijelölt pontokat kimásoljuk, eltérő színűre színezzük, majd visszaillesztjük, elő is áll a takarási ábra (37. ábra). Ilyen ábrák készítése a leglátványosabb módja a láthatósági probléma kimutatásának, emellett ilyenkor is előáll a látóháromszög, tehát a nem takart útszakaszok hosszát lemérve szintén kaphatunk számszerű adatokat. A 36. és 37. ábrák a Leica Cyclone 9.14-es verziójával készültek. [Mester, 2012.]



36. ábra: Kitakaró objektumok a vizsgált nézőpontból



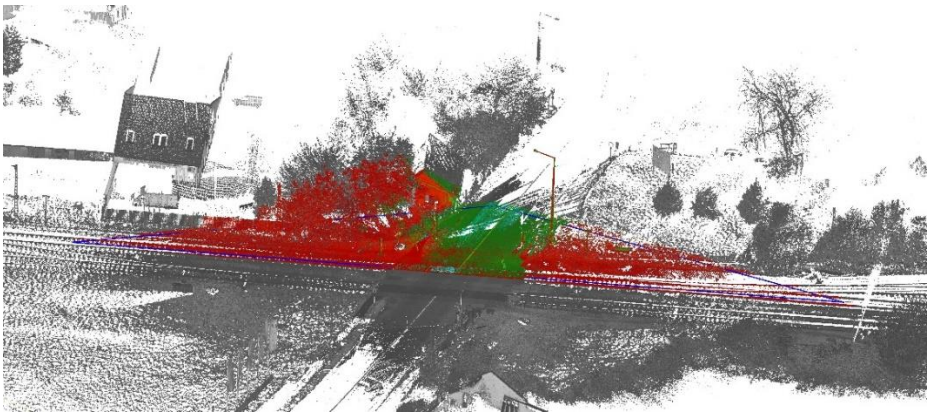
37. ábra: Kitakaró objektumok felülnézetből

4.4.2 Láthatósági szegmentáció HPR algoritmussal

A CloudCompare egy nyílt forráskódú szoftver, amely egy 3D pontfelhő (és háromszögháló) feldolgozására alkalmas. Eredetileg két sűrű 3D-s pontfelhő vagy pontfelhő és háromszögháló összehasonlítási feladatainak elvégzésére fejlesztették.

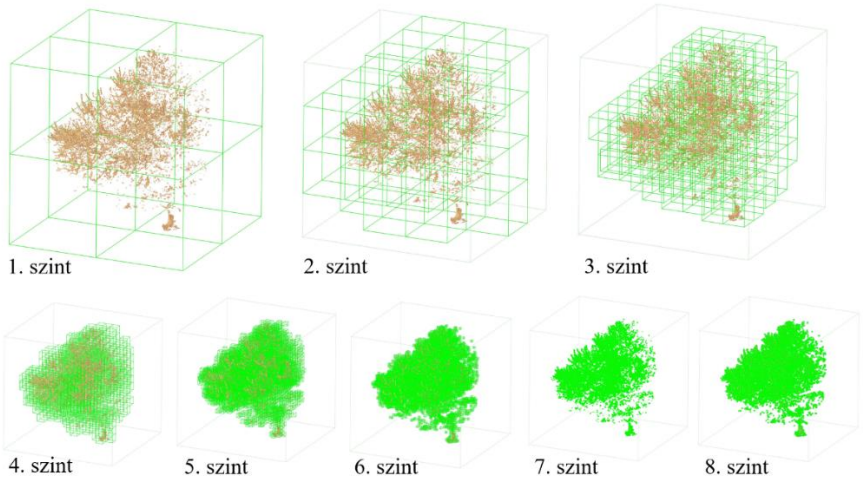
Későbbiekben kiterjesztették egy általánosabb pontfelhő-feldolgozó szoftverre, amely mára már számos fejlett algoritmust tartalmaz, például: újra mintavételezés, színes, normál és skalár mezők kezelése, statisztikai számítások, interaktív vagy automatikus szegmentálás.

A láthatósági vizsgálat szempontjából érdekes fejlesztés a „Hidden Point Removal" algoritmus, ami a pontfelhőből eltávolítja az egy adott nézőpontból nem látható pontokat [Katz et.al., 2007.]. Az algoritmus plugin-ként elérhető a szoftver parancsai között. Az elemzés eredményét a CloudCompare 2.13-as verziójával készített 38. ábra mutatja. A színes pontok a látómezőt mutatják, pirossal a takart részeket láthatjuk, zöld színezéssel pedig a látható részeket. Az alkalmazás fontos paramétere, hogy meg kell határozni az oktális fa szintet.



38. ábra: HPR algoritmussal készített takarási ábra a Győr szabadhegyi vasúti átjáróban

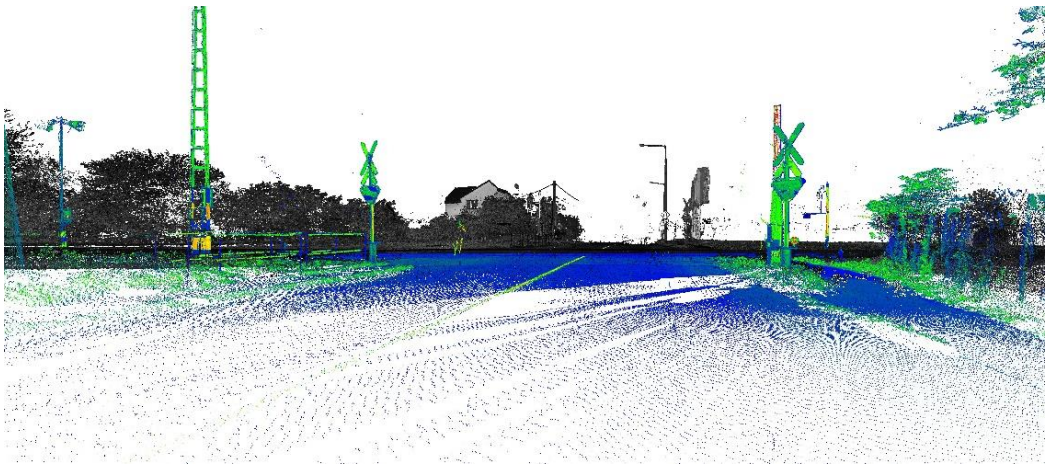
A program a nagy méretű pontfelhő gyorsabb megjelenítése, könnyebb kezelhetősége és elemzése érdekében speciális oktális fa (octree) struktúrára (39. ábra) támaszkodik. Ebben a szerkezetben a teret egy kockával fedi le, és az első lépésben nyolc egyenlő részre bontja. Minden következő szint további nyolcas osztással jön létre. Az ilyen struktúra felépítését követően könnyebben megoldhatók a térbeli kapcsolatokra, szomszédsági viszonyokra vonatkozó kérdések.



39. ábra: Oktális fa struktúra

Az elemzések végrehajtásakor fontos paraméter, hogy hányadik oktális szinten, azaz milyen felbontásban van szükség az eredményre, nagyobb szint megadása jelentősen megnöveli a számítási időt, alulbecsülve viszont csökkenti az eredmény pontosságát. A megfelelő szint kiválasztásához első körben mindenképpen kijelenthető, hogy a rendelkezésre álló pontfelhő sűrűségénél kisebb értéket felesleges választani, de célszerű figyelembe venni a felmérési eljárásra jellemző megbízhatóságot.

Másik lényeges beállítás, ami az elemzés eredményére hatással van, a megfigyelési pont megadása, amelyet koordinátákkal és megfigyelési irány három szögértékével állíthatunk. Továbbá meg kell adni a vízszintes értelmű látószöget, ami a befogott területet jellemzi. Ez a látómezőt határoló háromszög megfigyelési pontnál lévő belső szöge. A látószög értéket mindig aszerint állítottam, hogy a teljes látómező beleférjen. Elindulási szituációk esetében 160–170° körüli értékek megadására volt szükség, elindulási helyzetben kisebb szögek is elegendőnek bizonyultak. A 40. és a 41. ábra az ugyanazon koordinátákkal és irányokkal megadott megfigyelési pontokat mutatja, az első ábra esetén 120°, második esetben 170°-os látószöget állítottam. Magassági értelmű látószög nem adható meg, azonban a talajszint +2,5 m feletti pontok előzetes szűrésével egyszerűsíthető a vizsgálat.



40. ábra: 120°-os látószögű nézet

41. ábra: 170°-os látószögű nézet

4.4.3 A láthatósági vizsgálat automatizálásának lehetőségei

A vizsgálat automatizálásának lehetőségével foglalkoztak korábban a Budapesti Műszaki Egyetemen is. Egy olyan eljárást dolgoztak ki, melyben az összes pontot áttranszformálták a modell X, Y, Z koordinátarendszeréből a nézőpont poláris koordinátarendszerébe, amelyben minden pontnak három koordinátája van: egy vízszintes szög és egy magassági szög, amelyek együtt megadják a pont nézőponttól vett térbeli irányát, valamint az ezen az irányon vett távolság. Ezt követően a teret egy hálóval fedték le, és minden pontot besoroltak egy-egy rácsba a szögértékek alapján. Minden rácsban végül csak az a pont maradhatott meg, amelynek a távolsága a nézőponthoz képest a legrövidebb volt, vagyis ami a mögötte lévőket takarta. A megmaradt pontok végül a nézőpontból látható területet adták. A végeredmény elemzésével úgy találták, hogy mivel a pontok még ilyen sűrűségben sem egyeznek meg a felülettel, előfordulnak rosszul besorolt pontok, de a tévedés mértéke elhanyagolható az összes ponthoz képest. [Kibédy et.al., 2007.]

Az előző módszerre épülve dolgozta ki Mester Márton diplomamunkájában a továbbfejlesztett eljárását, amely abban különbözik, hogy a nem látható pontok nem törlődnek, hanem eltérő megjelenítési színt vagy attribútumot kapnak. A program poláris koordinátákat számol, majd kiterjedést ad a pontoknak, hogy takarni tudjanak, végül megvizsgálja, hogy az adott irányokban melyek a nézőponthoz legközelebbi pontok, és a többinek, törlés helyett, az attribútumát módosítja, így jön létre a takarási ábra. A módszer előnye, hogy a teljes pontfelhő megmarad, így a hagyományosan készülttel megegyező takarási ábra jön létre, melyben elemezhető, hogy mi az, ami nem látható. A gépi kiértékelésnek köszönhetően az akadályok csak annyival módosulnak, amekkora kiterjedést adtunk a pontoknak, így sokkal pontosabban elemezhetjük hatásukat, ami például a növényzet esetén nagyobb előny. [Mester, 2012.]

4.5 Kitakarást okozó objektumok láthatósági jellemzése síkbeli mérőszámokkal

A láthatósági vizsgálatot a kutatás során két irányból közelítettem meg. Első körben magukat a látómezőbe eső objektumokat vizsgáltam és jellemeztem, hogy feltárhatók legyenek a konkrét problémák. Ebben az esettanulmányban bemutatott módszer alkalmas az első tézisben bemutatott két szögpáros (α és δ) értékének meghatározására.

A módszer segítségével a síkbeli mérőszámok határozhatók meg. Ennek ellenére félig térbeli elemzésnek tekinthető, mivel a modell, amely alapján készítettem a kitakarási ábrát, három-dimenziós. Ennek köszönhetően az eredményekre hatással vannak az egyes objektumok magassági kiterjedésének változásai. Például, ha egy fának csak a törzse esik a látótérbe, akkor csak a törzs vastagságának kitakarása érvényesül. Amennyiben kizárólag horizontális kiértékelést végeznénk, akkor az ágrendszer vagy lombozat vastagsága számítana.

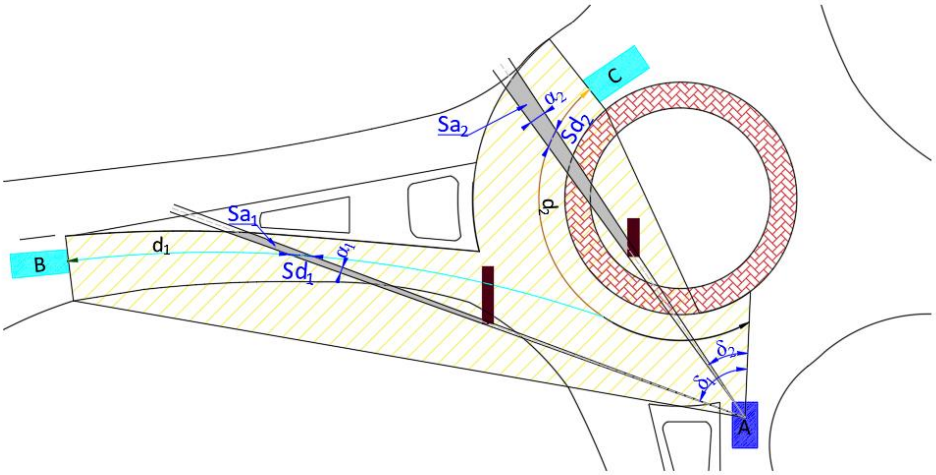
A módszer a következő lépésekből épül fel előkészített pontfelhő esetén:

- Látómező lehatárolása
- Megfigyelőpont meghatározása
- Látási akadályok azonosítása
- Kitakart részek szelektálása
- Síkbeli jellemzők mérése

A módszer lépéseit a Kálóczy téri körforgalom példáján keresztül mutatom be.

4.5.1 Körforgalom látómezőjének szerkesztése

A Kálóczy téri körforgalom esetében a Leica Cyclone szoftverben történt az elemzés, melyet követően a láthatósági paraméterek meghatározásához AutoCAD szoftvert használtam. A vizsgált körforgalom modelljébe egy csuklós buszt helyeztem azon csomóponti ág buszmegállójába, amelyik érinti a látóháromszöget. A 42. ábra mutatja a láthatósági mérőszámok értelmezését körforgalomra, ahol a d_1 és d_2 a látótávolságokat (distance), az Sd_1 és Sd_2 a látótávolság takart részeit (sight distance), az Sa_1 és Sa_2 a látómező tarkart területeit (sight area), α_1 és α_2 kitakart látószöget és δ_1 ésδ_2 a látási akadályok irányszögeit jelölik.

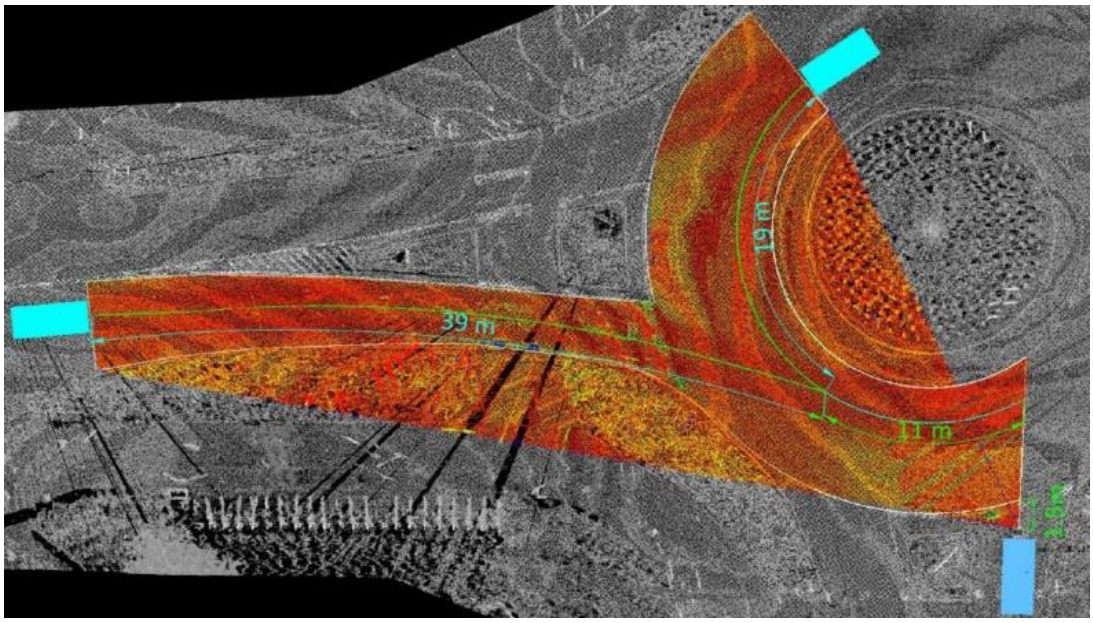


42. ábra: Láthatósági mérőszámok értelmezése körforgalomra

Az „A” jelű gépkocsi jelzi a megfigyelési pontot. A 43. ábra az előírt elindulási látómezőt, a 44. ábra a közeledési látómezőt mutatja. A 42., 43. és a 44. ábrán a világoskék téglalapok jelzik az észlelendő autók és a sárgával jelölt busz elhelyezkedését. Az elindulási és közeledési látómezőként két szemmagasságból készítettem el a kitakarási ábrákat. Az első esetben a személygépjármű-vezető szemmagasságát az előírások szerinti egy méterre, majd a tehergépjármű vezetőjét két méter magasságból modelleztem. A teherautó és személyautó között a vizsgálatban csak a szemmagasság különbségét figyeltem, ezért a felülnézeti ábrákon (43. és 44.) nincs különbség a vizsgálat között, sem a gépjárművek jelölésében.

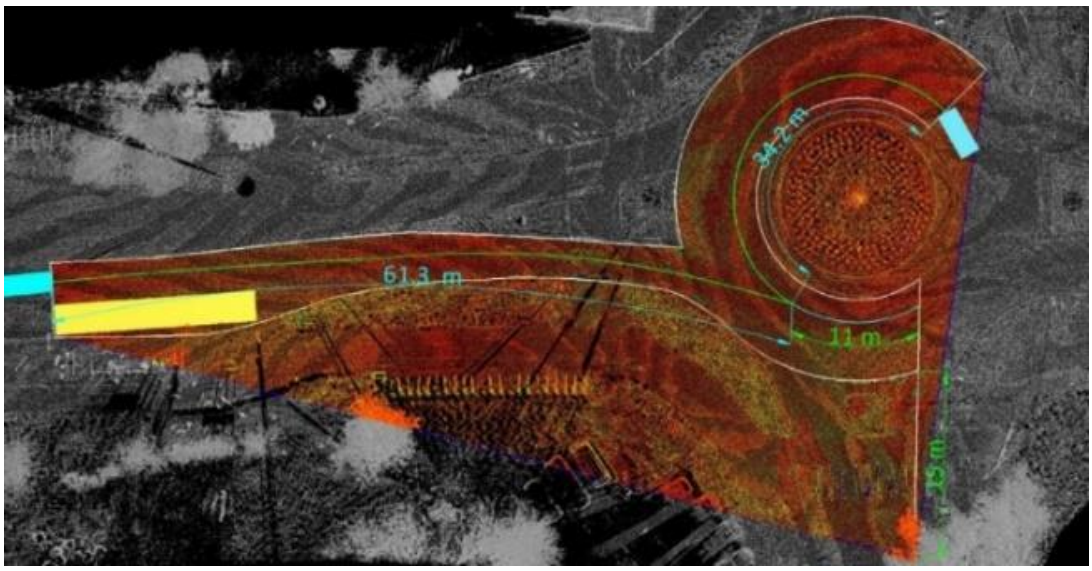
A szükséges látótávolságok (d_1 és d_2 a 43. ábrán) függenek a főirány sebességétől, az elindulási helyzetben 40 km/h-t feltételeztem a belépő irányból és 25 km/h-t a körforgalomban haladó járművek számára.

A d_1 és d_2 „T” csomópontra vonatkozó elindulási látómező paramétereit használtam a körforgalmi elindulási szituációhoz. Ekkor a d_1 távolság 50, a d_2 30 métert jelentett, melyeknek a körgeometria miatt 11 méternyi közös szakasza van (43. ábra).



43. ábra: Elindulási látómező

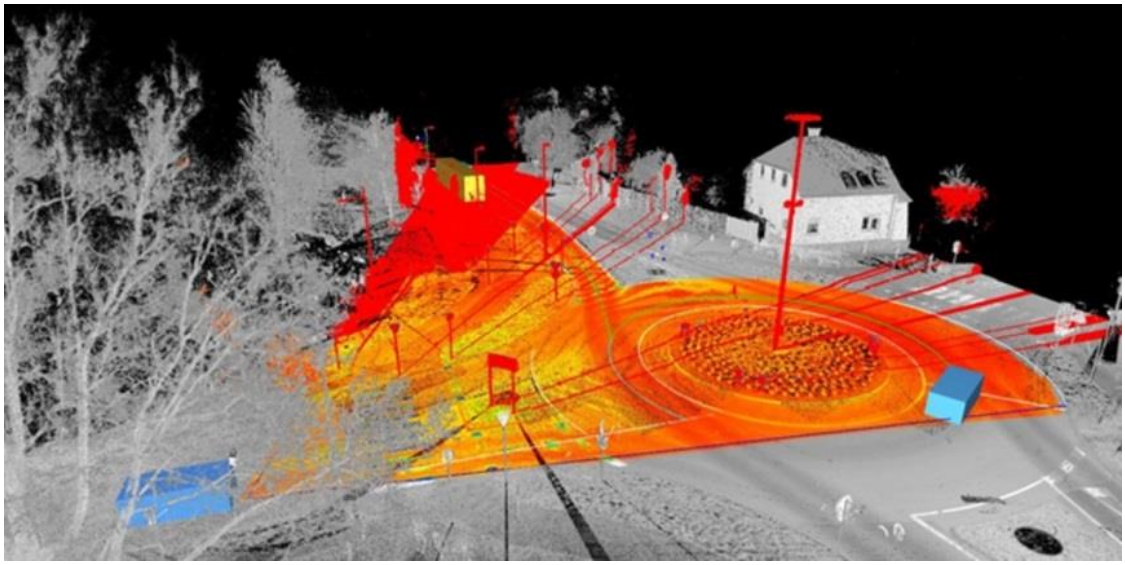
A közeledési látótávolságokat (44. ábra) az amerikai előírás „Roundabouts: An informational Guide”. irányelve alapján számoltam ki. A kézikönyvben megadott képlet figyelembe veszi a sebességet és 6,5 másodperces „Time gap” -et azaz becsatlakozási időközt, jelentése a főúton haladó két jármű közötti távolság időbeni kifejezése, azaz a csomópont biztonságos keresztezéséhez szükséges időintervallum. Az eredményül kapott d_1 ebben az esetben 72,3 méter és a d_2 45,2 méter. [Robinson et.al., 2000.]



44. ábra: Közeledési látómező

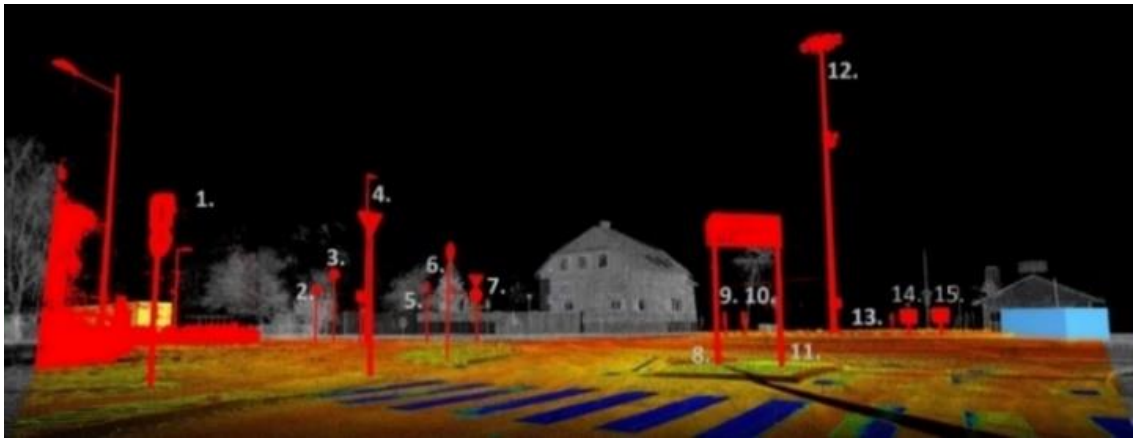
4.5.2 Mérőszámok meghatározása

A négy vízszintes értelmű meghatározandó indikátor méréséhez először a járművezetők térbeli koordinátáját adtam meg és aktiváltam, mint megfigyelési pontot. Kézi kijelöléssel lehatároltam az összes objektumpontot, amelyek a kívánt látómező területén vannak (45. ábra). Mivel a kiválasztás térben történik, ezért a kijelöléssel egyidőben minden pontot kiválasztottam a tereptárgyakkal együtt, amelyek az akadályok mögött helyezkednek el és árnyékként képződtek le.



45. ábra: Látható és nem látható pontok

Az akadályok azonosítása céljából minden objektumot vagy objektumcsoportot megszámoztam (46. ábra).

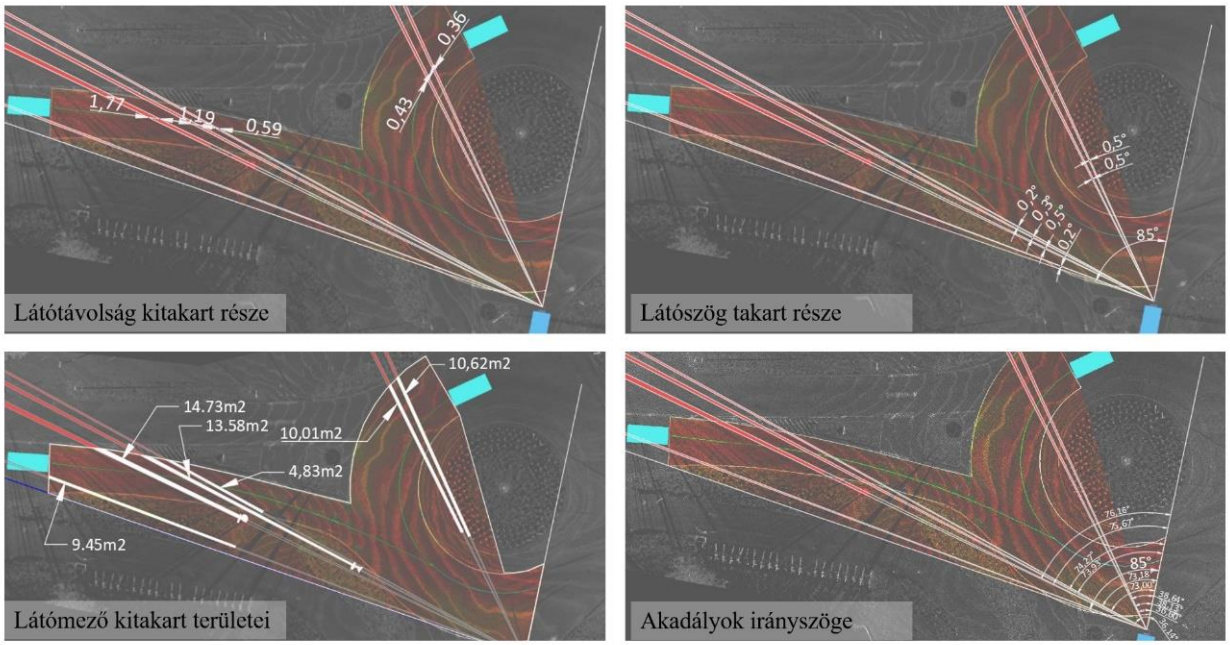


46. ábra: látási akadályok

1. Tárgycsoport (kerékpártároló, buszmegálló, KRESZ táblák, lámpa)
2. Kerékpárút jelzőtábla – 1
3. Kerékpárút jelzőtábla –2
4. Lámpa és KRESZ táblák
5. Kerékpárral behajtani tilos tábla
6. Kerékpárút jelzőtábla –3
7. Körforgalom és elsőbbségadás táblák
8. Széchenyi István Egyetem tábla – 1
9. Terelőtábla – 1
10. Terelőtábla – 2
11. Széchenyi István Egyetem tábla – 2
12. Közvilágítási oszlop
13. Terelőtábla – 3
14. Terelőtábla – 4
15. Terelőtábla – 5

A láthatósági elemzés eredményeit az AutoCAD Recap segítségével importáltam az AutoCAD szoftverbe, ahol a „méretek” paranccsal elvégeztem a méréseket mind a négy változatra. A 47. ábra a négy paraméter méretezését mutatja elindulási helyzetből és személygépjármű

szemmagasságából. A látótávolságok takart részeit a látótávolság vonal mentén mértem. A látóháromszög területének takart részeit a láthatósági akadályok figyelembevételével azonosítottam. Az elindulási látómező esetén a harmadik objektum által elrejtett terület megtalálható a szükséges szabad területen, de nem metszi a látótávolságot, ezért ezt a paraméterét a 3. objektumnak nem mértem meg. Az irányszögeket a jármű hosszanti tengelyével párhuzamosan, a járművezető becsült helyzetéből és irányától határoztam meg. Az irányszög pontos értéke a két szélső szögének átlaga, és különbségük a kitakarás szöge.



47. ábra: Láthatósági mérések elindulási látómező esetében

4.5.3 Eredmények bemutatása

A méréseket a 18. táblázatban elindulási és a 19. táblázatban közeledési szituációkra vonatkozóan foglaltam össze. A két iránynak, a körforgalomba becsatlakozó és a körforgalomban haladó irányoknak 11 méter hosszú közös része van, ezért nem lehet őket egyértelműen elkülöníteni, a táblázatok mindkét irányt együtt tartalmazzák. A szükséges látótávolságok összegzésénél a közös részt csak egyszer vettem figyelembe.

18. táblázat: Láthatósági mérések elindulási látómezőre vonatkozóan

Akadály sorszáma		Látótávolság kitakart része s_d [m]		Látómező kitakart része s_a[m^2]		Látószög takart része szög a [fok]		Akadályok Irányszöge δ [fok]	
		Szgj	Tgj	Szgj	Tgj	Szgj	Tgj	Szgj	Tgj
d_1	3	–		–	11,7	0,2	0,2	–	
	4	1,8	2,7	9,5	22,5	0,5	0,6	75,9	75,2
	5	1,2	1,5	14,7	7,6	0,2	0,2	74,1	73,5
	7	0,6	0,9	13,6	8,4	0,3	0,4	73,1	72,3
d_2	9	0,4	0,9	14,8	22,6	0,5	1,0	38,4	37,8
	10	0,4	1,1	10,6	28,9	0,5	1,2	36,4	35,9
Összesítve:		4,3	7,1	63,2	89,9	2,2	3,6		
Teljes hossz/terület/szög:		69	69	1468	1468	85,0	85,0		
Takarás százalékosan		6,3%	10,3%	4,3%	6,1%	2,6%	4,2%		

A személygépjárművek (Szgj) esetében a mutatók összértéke az előírt érték tíz százaléka alatt maradt. Azoknál a tehergépjárműveknél (Tgj), ahol a vezető szemmagassága két méter, a takart részek aránya magasabb volt. Ez a közlekedési táblák helyzetével magyarázható. Az autósok ellátnak a közlekedési táblák alatt, számukra csak a keskeny oszlopok jelentenek akadályt.

A közeledési látómezőbe (19. táblázat) több tárgy esik. Legtöbbjük közlekedési tábla, amelyek általában nem képeznek nagy akadályt, de a modellezett nézőpontról egymás melletti jelzések esetén a takart részek nagyobbak lehettek, pl. a 4-es KRESZ tábla és közvilágítási oszlop együttese. Ezek több mint egy métert elrejthetnek a látómezőtől (ami elegendő egy gyalogos kitakarására).

Az 1. számú akadály egy olyan objektumcsoport, ahol a tárgyak közel vannak egymáshoz (autók parkolása, buszmegálló, kerékpár parkolás és csuklós busz). Úgy tűnik, hogy ezek a tárgyak éppen a látóterünk szélén vannak, de együtt hatalmas kitakarást okoznak, 25 méterrel csökkentik a szükséges látótávolságot, és a terület harminc százalékát eltakarják.

19. táblázat: Láthatósági értékek a közeledési látómezőben

Akadály sorszáma		Látótávolság kitakart része s_d [m]		Látómező kitakart része s_a[m^2]		Látószög takart része szög a [fok]		Akadályok Irányszöge δ [fok]	
		Szgj	Tgj	Szgj	Tgj	Szgj	Tgj	Szgj	Tgj
d_1	1	25,7	28,4	508,3	640,2	14,8	14,2	77,34	77,75
	2	0,3	1,3	3,7	3,6	0,2	0,8	65,0	65,0
	3	0,3	0,4	4,5	8,2	0,2	0,3	63,5	64,0
	4	1,2	1,7	23,9	27,6	1,2	1,2	60,7	61,1
	5	0,2	0,2	2,0	1,0	0,3	0,2	55,1	55,6
	6	0,3	0,3	4,2	7,5	0,3	0,3	53,1	53,6
	7	0,3	0,3	3,5	3,9	0,3	0,3	50,2	50,4
d_2	8	0,7	0,7	9,8	13,4	0,5	0,5	27,1	27,6
	9	0,3	0,3	2,8	6,6	0,3	0,4	26,3	26,8
	10	0,4	0,3	2,7	6,2	0,4	0,4	24,6	26,0
	11	0,6	0,6	11,8	13,8	0,6	0,4	21,5	21,9
	12	0,8	0,9	8,5	8,8	1,2	1,1	17,1	17,3
	13	0,2	0,2	8,8	4,8	0,2	0,2	12,7	13,2
	14	0,3	0,3	3,6	6,5	0,4	0,3	11,5	11,9
	15	0,2	0,3	2,9	4,6	0,3	0,3	9,2	9,7
Összesítve:		31,7	36,1	600,9	756,5	21,2	20,9		
Teljes hossz/terület/szög:		116	116	1630	1630	85	85		
Takarás százalékosan:		27,2%	31,0%	36,9%	46,4%	24,9%	24,6%		

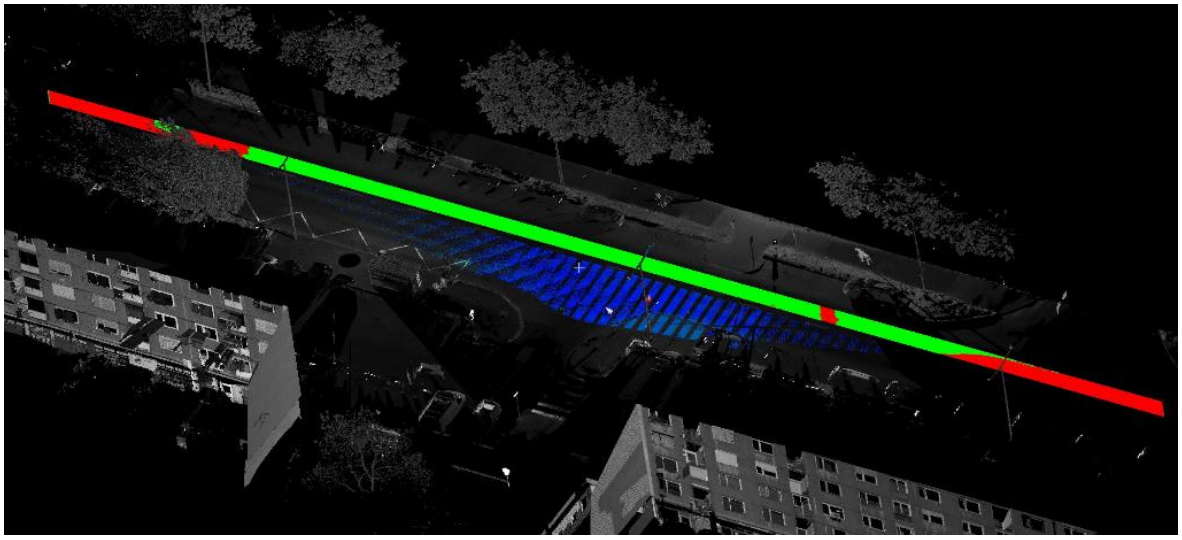
4.5.4 A vizsgálat tapasztalatai és következtetései

A körforgalmú csomópont esetében a lézerszkenner műszergyártó által fejlesztett Leica Cyclone 9.14. nevű szoftver segítségével történt a vizsgálat egy térbeli grafikus leválogatás alapján. Ennek az eljárásnak az eredménye jelentősen függött a vizsgáló megítélésétől. A pontfelhőket AutoCAD 2017 szoftverbe exportáltam, ahol felülnézetben határoztam meg a vízszintes értelmű láthatósági mérőszámokat, a látótávolság takart részeinek a hossza, a látómező takart területei, az akadályok irányszögei, illetve látószögei. Összesen négy esetet vizsgáltam, melyből kettő személygépjármű szemmagasságát, azaz az egy métert modellezte, másik kettő pedig tehergépjármű azaz 2,00 métert. Mindkét jármű látóterét meghatároztam elindulási és közeledési szituációkban. A számértékek százalékos arányainak összehasonlításából az első megfigyelés, hogy a tehergépjármű látótere mindegyik esetben takartabb, ami annak tulajdonítható, hogy nem a jelzőtáblák vékony oszlopai, hanem már a szélesebb tábla esik a látóterébe. A másik megfigyelés, hogy olyan látási akadályok is

előfordultak a csomópontban, amelyek a megfigyelési pontból „összeolvadnak”, együttesen fejtik ki hatásukat, mert közel megegyező irányszög alatt látszódnak, azaz két látszólag keskeny tereptárgy együttesen már okozhat jelentősebb kitakarást.

4.6 Térbeli láthatósági vizsgálat referencia sík segítségével

A 3.5. fejezetben bemutatott lehetséges térbeli mérőszámok között szerepelt a referencia sík koncepciója, ami a látótávolság vonalában megszerkesztett függőleges felület, amire a megfigyelő pontból vetíthetőek a látóháromszög belsejébe eső akadályok, mint árnyékok (48. ábra). Ezen a síkon az egyes akadályok kitakarásai együttesen jelentkeznek. A látótávolság térbeli párja a referencia sík. Felülnézetből készített függőleges vetülete megegyezik a látótávolsággal. A referencia síkra vetített kitakarások aránya, azaz a kitakart és látható részek aránya, kifejezhető százalékos formában.



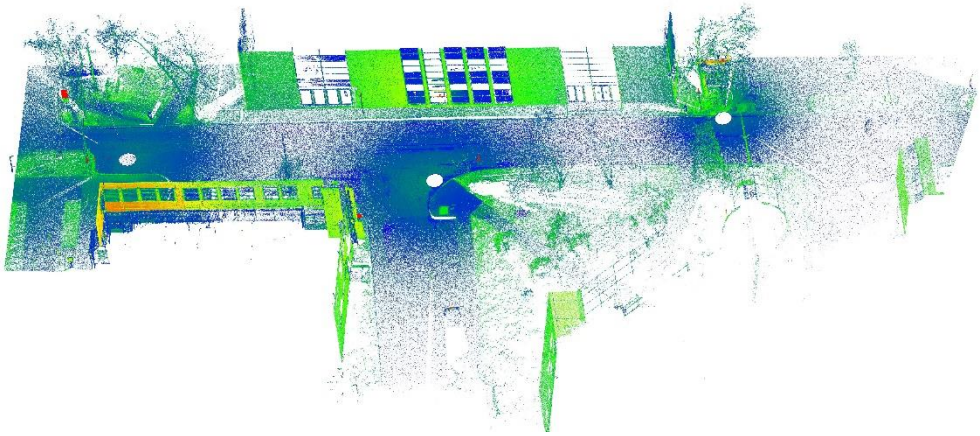
48. ábra: Látható és takart részek a referencia síkon

A láthatósági elemzés lépései a referencia sík segítségével:

- Pontfelhő előkészítése
- Látómező lehatárolása és kivágása a pontfelhőből
- Referenciasík szerkesztése
- Megfigyelőpont beállítása
- HPR algoritmus futtatása
- Referenciasík látható arányának meghatározása.

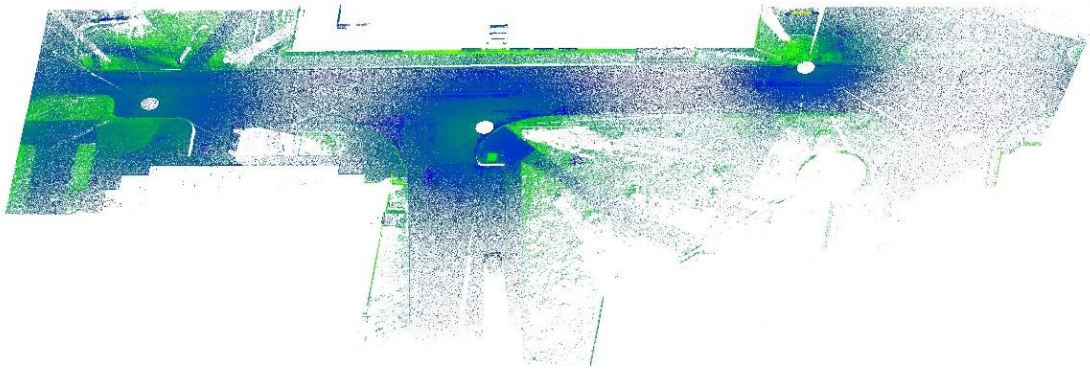
4.6.1 A Széchenyi István Egyetem belső csomópontjának elemzése

A lézerszkennerből kiolvasott adatok előkészítő lépéseihez tartozik a zajszűrés, a három álláspont összeillesztése, azaz regisztrációja, majd a pontfelhő egyszerűsítése. Elsőként az elemzéssel nem érintett területeket és a nem állandó tereptárgyakat, járműveket és gyalogosokat távolítottam el. A megmaradt pontok száma ~30 millió, melyet a 49. ábra mutat. A pontokat intenzitási érték szerint kék, zöld, sárga és piros színek alkotta skálán jelenítettem meg, hogy könnyen azonosíthatók legyenek a terepi objektumok. Az intenzitási érték a lézerszkenner által kibocsátott sugár energiájának és a visszaérkezett sugár energiájának hányadosa.



49. ábra: Az előkészített pontfelhő

Következő egyszerűsítés a talajpontok leválogatása, ami a Cloude Simulation Filter (CSF) nevű beépülő modul segítségével történt [Zhang et.al., 2016]. A szűrés eredményeként két külön pontfelhő keletkezett, ebből az egyik tartalmazza a felszíni tereptárgyakat, mint például az épületek, a növényzet és a táblák. Az 50. ábra mutatja a másik, talajpontokat tartalmazó pontfelhőt, ami jelen esetben a burkolt és gyepes területeteket jelentette Az algoritmus alkalmas arra, hogy eltérő magassági viszonyok mellet is végrehajtsa a műveletet.

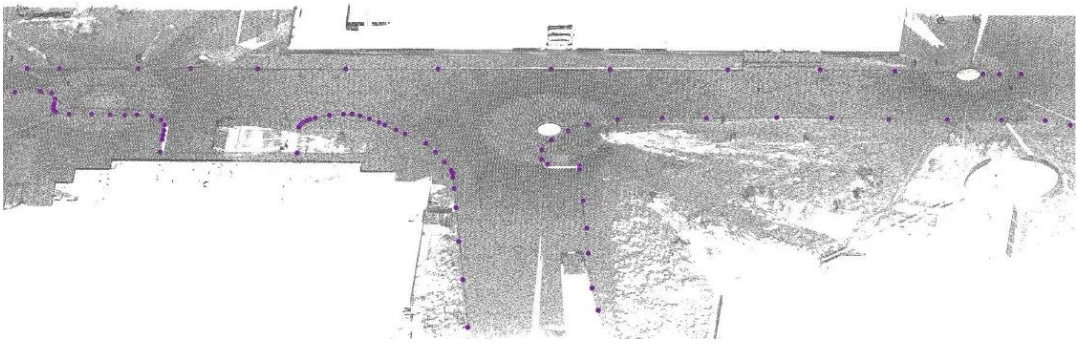


50. ábra: Talajpontok

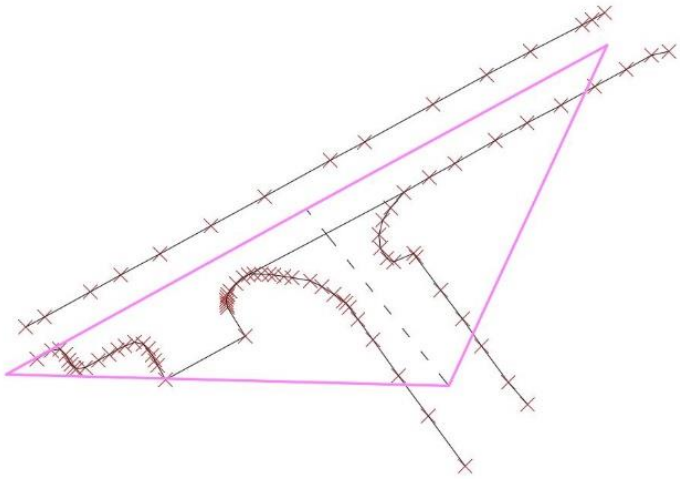
A következő lépésben megszerkesztettem a csomóponti látóháromszöget a pontfelhő alapján. Tekintettel arra, hogy ez egy belső út, ahol jelentős a gyalogos forgalom, ezért 10km/h-ra vonatkozóan történt a számítás. A másik alapvetés a csatlakozó útszakaszra vonatkozik, ami szintén nincs KRESZ táblával szabályozva, tehát a jobbkéz szabály érvényesül. Az innen érkező jármű elsőbbségadásra van kötelezve, ezért közeledési szituációra vonatkozó előírások szerint történt a vizsgálat. A hazai útügyi műszaki előírás, az e-UT 03.01.11 alapján a vizsgálandó látótávolságot (L_k) 35 méter és a megfigyelő pontot az út tengelyétől 20 méter távolságban vettem fel.

A CloudCompare szoftverben ugyan lehetőség van vonalak vagy vonalláncok szerkesztésére, azonban a pontos geometria kiszerkesztéséhez ezek az eszközök nem voltak elegendőek, a szerkesztéshez CAD környezetet használtam.

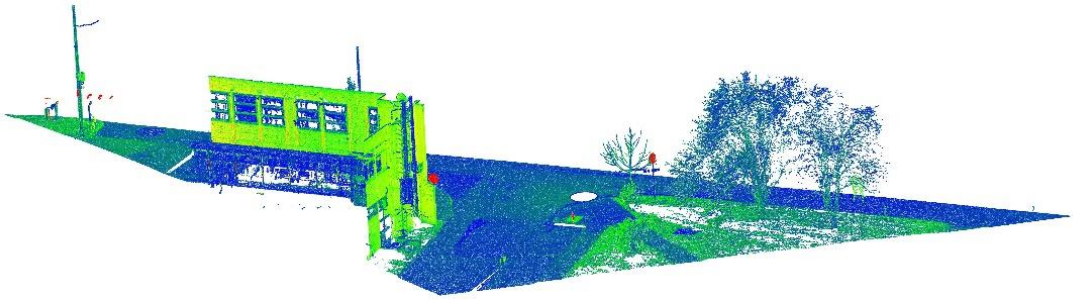
A pontfelhő alapján meghatároztam az útszélek jellemző pontjainak koordinátáit (51. ábra). A koordinátajegyzék segítségével AutoCAD 2020 szoftverben megszerkesztettem az előírásnak megfelelő látómezőket (52. ábra). A látómezőt határoló vektoros rajzot visszaimportáltam a használt pontfelhős szoftverbe, ahol a vonalas rajz határain belül lévő pontokat leválogattam (53. ábra).



51. ábra: Csomópont jellemző pontjainak felmérése

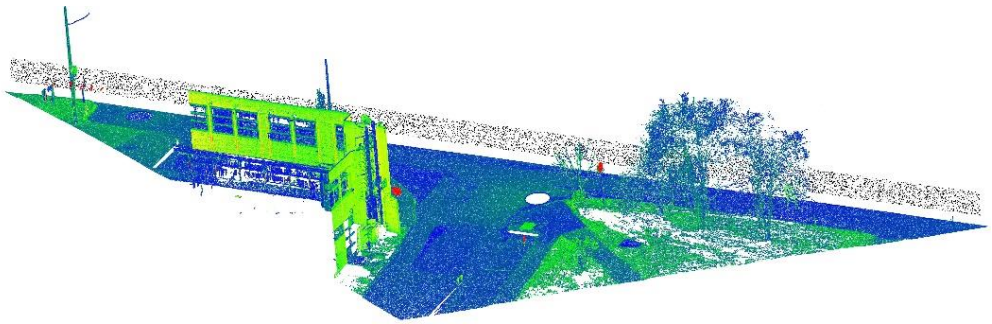


52. ábra: Közeledési látómező szerkesztése



53. ábra: Látómezőben lévő pontok

Az út tengelyébe eső látótávolság vonalát megemeltem az előírás szerinti 0,8 és 2,5 méteres magasságokba, ennek köszönhetően a referencia sík határait kaptam meg. A két vonal között „mesh” háromszögháló felületet hoztam létre, amelyet átalakítottam pontfelhővé. A konvertáláshoz 100 pont/m^2 pontsűrűséget használtam, ami a 70 méteres hosszon 11 900 pontot eredményezett. Az 54. ábrán látható a látómezőből kivágott pontfelhő, valamint a kiszerkesztett referencia sík pontfelhője.



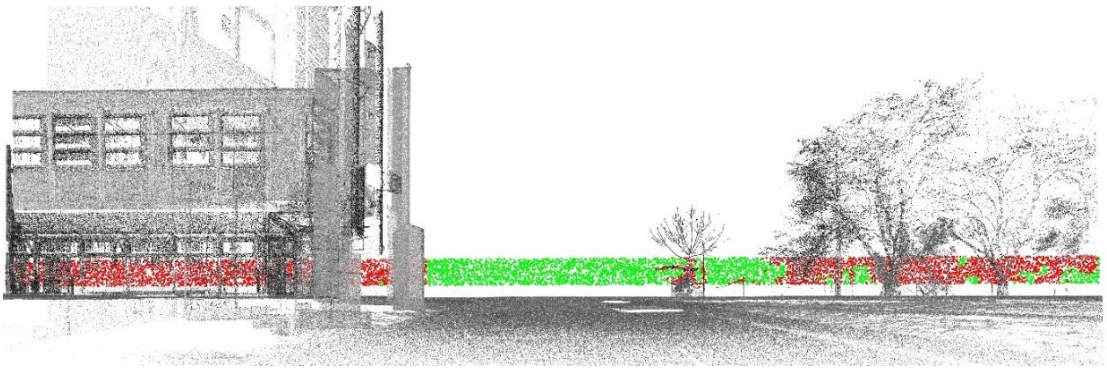
54. ábra: Referencia sík

A megfigyelési pont az egyik bemenő adata a „Hidden point removal” algoritmusnak, ami lényegében a háromszög csúcsa és plusz 1,00 méter a magassági koordinátához. Ez határozza meg a járművezető szemének elvi pozícióját. Ezt a megfigyelési pontot koordinátásan adtam meg és a kamera nézőpontjának irányát három szögértékkel állítottuk be. A teljes látótávolság áttekintéséhez a megfigyelőpontból 120°-os látószöget alkalmaztam. A HPR algoritmus egy pontfelhőn futtatható le, ezért a referencia sík ponthalmazát és a terepfelszín feletti pontokat tartalmazó pontfelhőt egy korábbi lépésben egyesítettem, majd az algoritmus alkalmazását követően a referencia sík megmaradt pontjait különválasztottam, hogy eltérő színnel jeleníthessem meg.

A referencia síkon megmaradt látható pontokhoz zöld színt rendeltem, a kezdeti 11 900 pontból 4001 pont maradt meg a szűrést követően. A látható pontok az összes pont 33,6%-át jelentik. Az 55. ábrán zöld színnel vannak jelölve a látható pontok.

55. ábra: Az elemzés eredménye, a kiértékelt referencia sík

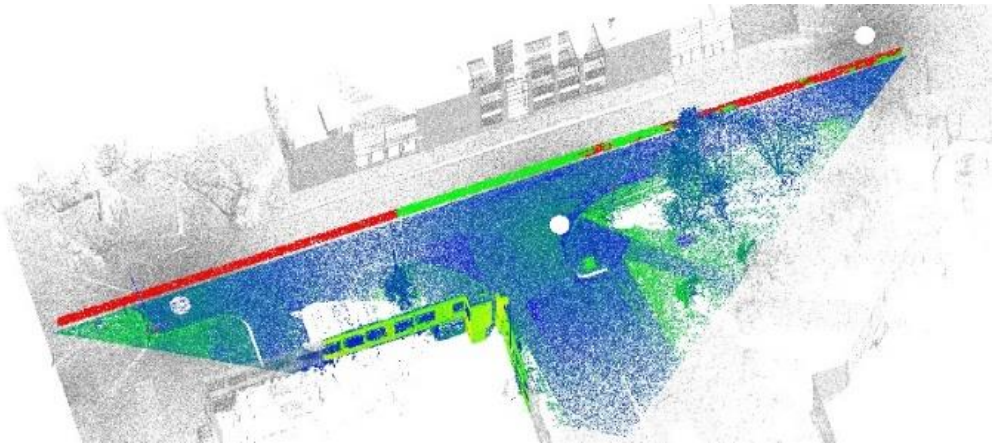
Az 56. ábra a megfigyelési pontból mutatja az eredményt. A megjelenítésben a terepszint feletti objektumokat és a talajpontokat szürkével láthatjuk, hogy az esetlegesen mögöttük lévő referencia sík részei kirajzolódjanak.



56. ábra: Elemezett pontfelhő a gépjárművezető szemszögéből

Az 57. ábra felülnézetből mutatja az eredményeket. A szürkével jelölt részek a látómezőn kívül eső területeket jelölik. Ezen az ábrán jobban megfigyelhető a referencia sík piros és zöld részeinek aránya, illetve a bal oldali épület által okozott 28 méteres összefüggő takarás.

Láthatjuk továbbá a jobb oldalon a növényzet által meghatározott foltokban kialakuló látható részeket, összesen 26 méteres szakaszon. Teljes összefüggő láthatóság csak a referencia sík középső részén, 16 méteren biztosított.



57. ábra: Elemezett pontfelhő felülnézetből

4.6.2 Az öt helyszínen 11 megfigyelési pontból készített vizsgálatok eredményei

A lézerszkenneres felméréseket helyszínenként két-két eltérő megfigyelési pontból, elindulási és közeledési látómezőként értékeltem ki. A tíz minta kiegészítéseként az egyetemi belső úti helyszín megfigyelési pontját a tengelytől mért 20 méteres távolságba helyeztem át. Mindegyik esetben 100 méter hosszú látótávolságot alkalmaztam az eredmények összehasonlíthatósága érdekében.

Az eredményeket az 58. ábra mutatja, ahol a referenciasík látható részeit szintén zöld színnel, a takart részeket pirossal jelenítettem meg. A vizsgált minták közül a Zólyom utcai helyszín volt a legkedvezőbb elindulási szituációban, ott a referencia sík 95,1%-a látható. A legkevésbé pedig az egyetem egyik belső csomópontja közeledési szituációban, itt mindkét vizsgált pontból igen gyenge a láthatóság, az úttengelyétől 20 méterre lévő megfigyelési pont esetében 20,6%, 10 méter esetében 40,8%.

Helyszín	Szituáció	Látható pontok aránya	Referencia sík
Egyetem	közeledési v.2	20.6%	
Egyetem	közeledési	40.8%	
Szabadhegy	közeledési	41.7%	
Kodály	közeledési	44.1%	
Szabadhegy	elindulási	47.6%	
Egyetem	elindulási	51.5%	
Zólyom	közeledési	52.0%	
Kodály	elindulási	60.7%	
Kálóczy	közeledési	62.6%	
Kálóczy	elindulási	71.1%	
Zólyom	elindulási	95.1%	

58. ábra: Láthatósági elemzés eredménye referencia síkra vetítve

4.7 Összehasonlító elemzések referencia sík segítségével

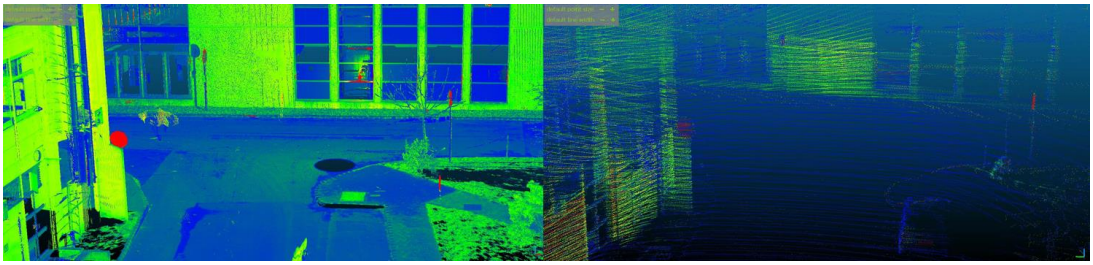
Ez a fejezet azt a lehetőséget vizsgálja meg, hogy milyen hatással van a láthatósági vizsgálat eredményeire, ha nem a nagy pontosságú földi lézerszkenner a felmérési eszköz, hanem a pontfelhő más technológiával készül.

Az első esetben autonóm jármű által felvett pontfelhős modellel, a második esetben fotogrammetriai felméréssel hasonlítom össze a statikus lézerszkennert referencia sík segítségével.

4.7.1 Lézerszkenner és autonóm jármű LiDAR felmérése alapján készített pontfelhők összehasonlítása

Az autonóm járművek fejlesztésének egyik alappillére a LiDAR-ok használata és a pontfelhős felmérés alapján történő navigálás. Az infrastruktúrával foglalkozó kutatások szempontjából egyik lényeges kérdés, hogy a járművek LiDAR-os felmérései utólagosan felhasználhatók-e a csomópontok láthatósági vizsgálataira.

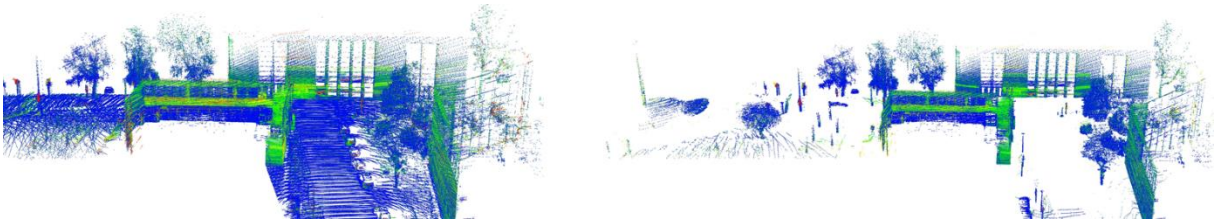
A teszt autonómjármű felméréséből származó adatokra, a vizsgálat során mint mobillézerszkenneres adatként tekintettem, ezért MLS rövidítésként fogok hivatkozni rá. Az összehasonlítás másik alapját képező földi lézerszkennelésből származó adatokat pedig TLS-nek fogom rövidíteni. Az 53. ábrája bal és jobb oldala ugyanazt a csomópontot ábrázolja. Az első képen egy TLS pontfelhő, a második képen a MLS felmérésének eredménye látható.



59. ábra: TLS és MLS felmérésekből származó pontfelhők

A tervezett vizsgálat elkészítéséhez egy pontfelhős állományt kaptam, amit a Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont által fejlesztett jármű rögzített egy, az egyetem campusán tett tesztútján (59. ábra). A láthatósági vizsgálathoz ezen az útvonalon található csomópontok közül választottunk ki az Idegen nyelvi központnál található csomópontot.

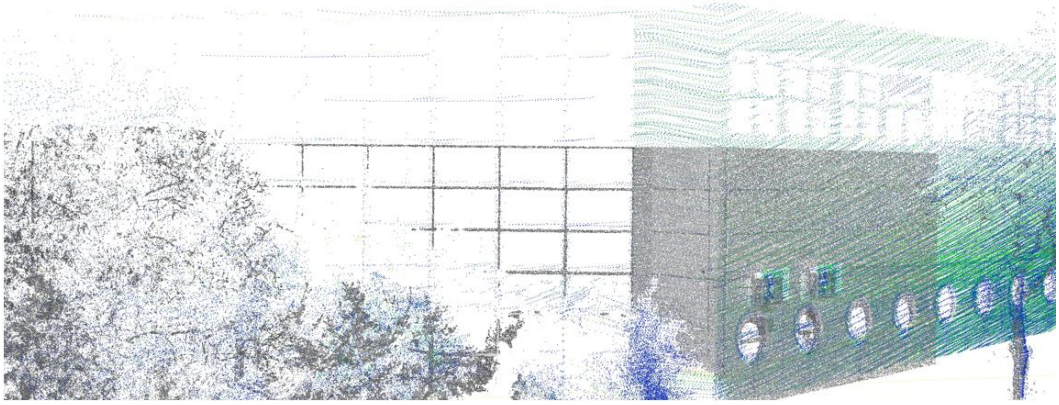
A lézerszkenneres mérés kiértékelését a 4.6.1. alfejezet mutatja be részletesen, ehhez illesztettem a kapott MLS felmérést. A TLS méréssel megegyező környezet kialakításához eltávolítottam a nem állandó tereptárgyakat és a parkoló autók pontjait. Ezt a lépést akkor is érdemes elvégezni, ha nem összehasonlításról van szó, mert így a kereszteződésről az épített környezet szerinti eredményt kapunk, amelyet utólag ki lehet egészíteni bármilyen közlekedési helyzet modellezésével. A 60. ábrán látható az előkészített MLS pontfelhő.



60. ábra: MLS pontfelhő szegmentálása

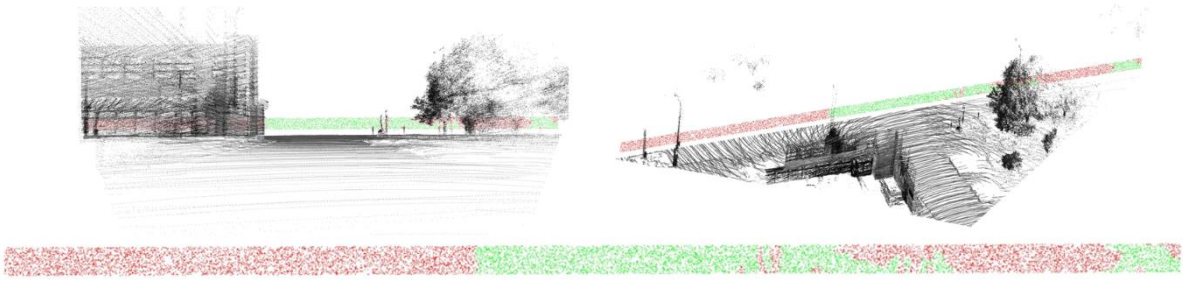
Annak érdekében, hogy a láthatósági vizsgálat eredményei minél jobban összehasonlíthatóak legyenek, a MLS felmérési eljárásból származó felvételt áttranszformáltam a TLS koordinátarendszerébe. Ennek köszönhetően ugyanazon beállításokkal és nézőpontból végezhető el az elemzés, mint a TLS esetében.

A transzformációs paraméterek meghatározása közös kapcsolópontok megadásával történt. Mivel három pontpárt adtam meg, így a feles adatok felhasználásával transzformációs középhibát számolt a rendszer. Tekintettel arra, hogy a MLS felmérés sokkal ritkább és zajosabb, ezért a legnagyobb, kilenc centiméteres illesztési hiba jónak tekinthető. A 61. ábrán szürkével a TLS pontjai, valamint kékes, zöldes színekkel a MLS felvétel pontjai látszódnak. A két rész az épület mentén jól illeszkedik egymáshoz.



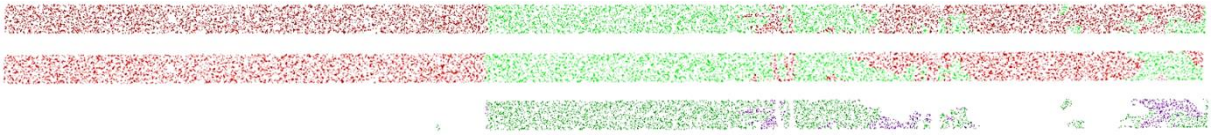
61. ábra: MLS pontfelhőjének transzformálása a TLS pontfelhőre

Az autonóm jármű pontfelhője alapján 4499 pont maradt látható, ami az eredeti 11 900 pontból álló referencia sík 37,8%-a (62. ábra). A TLS felmérés alapján 4001 (33,62%) látható pontot kaptunk eredményül. Az eredmények különbsége százalékos értékben 4,21%-ot jelent. Erre az eltérésre hatással lehet, hogy a két mérés eltérő időpontban keletkezett, igy bizonyos körülmények megváltozhattak, például a növényzet. Továbbá a transzformációból eredő pontatlanság is befolyásolhatja az eredményt.



62. ábra: A vizsgálat eredménye a MLS alapján

A 63. ábra felső referencia síkja a TLS-ből kapott kiértékelést mutatja, a középső a MLS adataiból készített láthatósági kiértékelés. A zöld szín a látható, piros a takart részeket jelenti. A legalsó sáv referencia síkra a két felmérésből kapott látható pontok különbségét mutatja. Zöld a TLS, a lila a MLS látható pontjait jelöli. Nagyobb eltérések a sík jobb oldalán láthatóak, ahol többnyire a növényzet okozta a kitakarásokat.

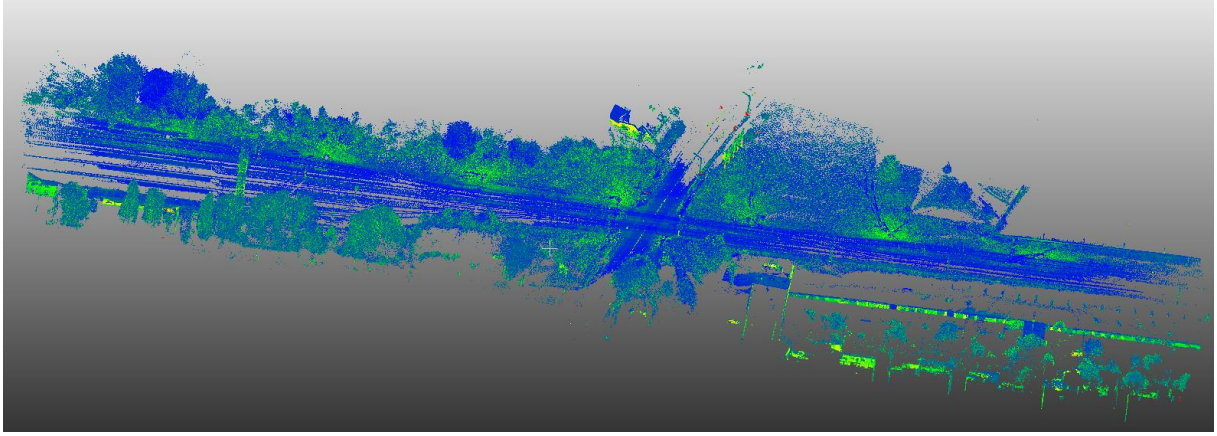


63. ábra: TLS és MLS felmérések alapján készített referencia síkok összehasonlítása

4.7.2 Lézerszkenner és drónfelmérés alapján készített pontfelhők összehasonlítása

Mindkét felmérés eredményterméke a pontfelhő, ugyanakkor lényeges különbség, hogy jelentősen eltér a rögzítésük helye. A drón felülnézetből, a TLS megközelítőleg szemmagasságból készíti el a felmérést. Azok a részletek, amelyek felülnézetből takarásban vannak, azok látszódhatnak a lézerszkenneres állományban és fordítva. A különbség ellenére mégis mindkét módszerrel olyan pontfelhős állomány állítható elő, amelyben elvégezhető a láthatósági vizsgálat referencia sík alkalmazásával, és érdekesnek tartom, hogy a két teljesen eltérő felmérési módszerből származó adatok alapján készült elemzések eredményei mennyire közelítenek egymáshoz. A két nézőpont közti eltérést a két módszer együttes alkalmazásával lehet a legjobban kihasználni.

A vizsgálat helyszíne a szabadhegyi átjáró volt. A HDS 6200-as lézerszkennerrel történt felmérés eredményét a 64. ábra mutatja. A fotogrammetriai felméréshez egy DJI Phantom 3 – standard típusú drón állt rendelkezésemre, ami a hazai UAS kategóriák között A2-es kategóriába sorolható. Az átjáróról drónnal készített pontfelhőt a 65. ábra mutatja. Mindkét felmérés ugyanakkor történt a sorompóval biztosított átjáróban 2017-ben, azóta ezt a vasúti átjárót átépítették.



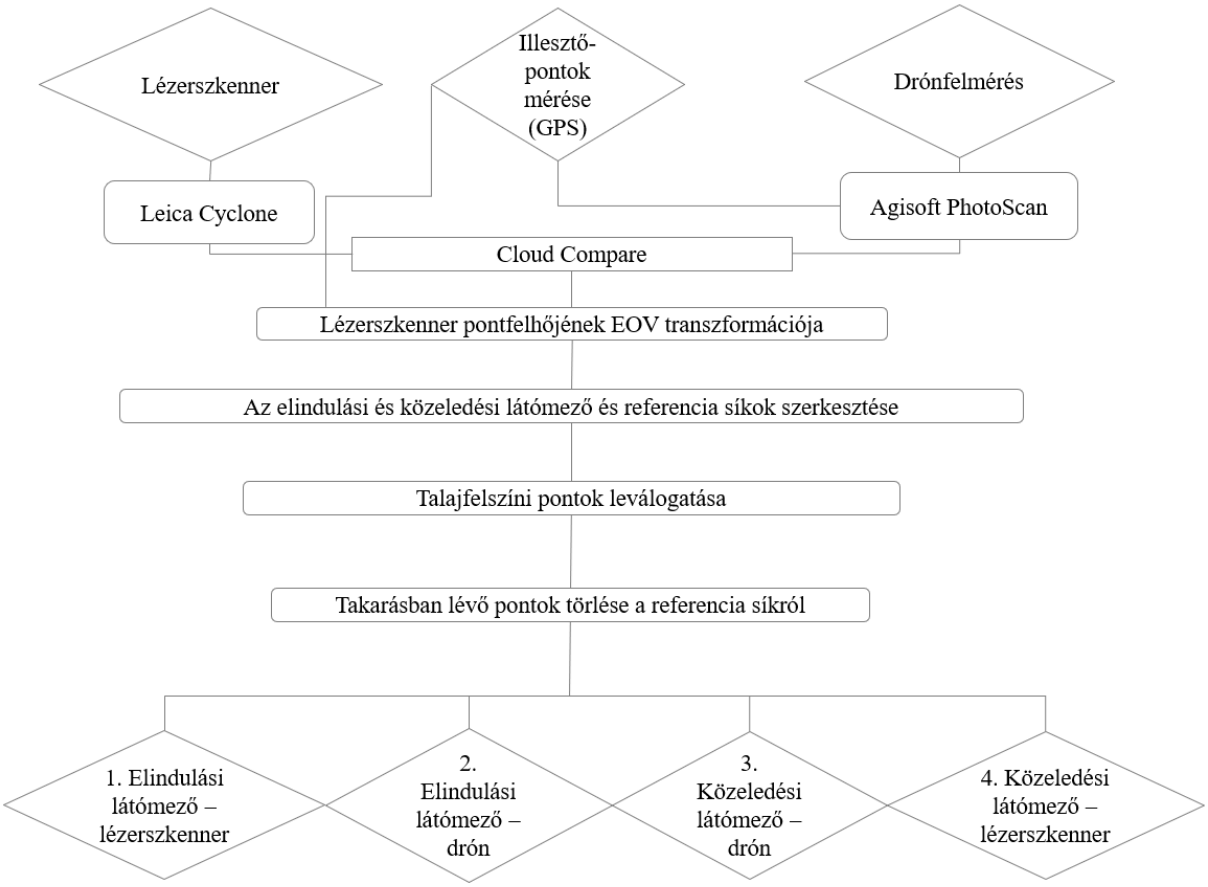
64. ábra: Szabadhegyi átjáró lézerszkennerrel készített pontfelhője

65. ábra: Drónnal készített pontfelhő

Folyamatábra (66. ábra) segítségével összegeztem a kiértékelés lépéseit. A lézerszkenner gyári szoftverét Leica Cyclone 9.14-et használtam az álláspontok összeillesztésére és a zajtisztításra, majd az előkészített pontfelhőt importáltam a Cloud Compare 2.8.1 programba. A másik eljárás

szerinti pontfelhő létrehozásához Agisoft PhotoScan 1.3.4 szoftvert használtam. A fényképek betöltését követően a szoftver automatikusan összeillesztette a fényképeket. Ennek a lépésnek az eredménye egy ritka pontfelhő, amelyet követ a sűrű pontfelhő elkészítése, melyek mellett létrehoztam a terület digitális terepmodelljét és ortofotóját is.

A következő lépésben az illesztőpontok helyeit azonosítottam a fényképeken és megadtam a hozzá tartozó pontos koordinátákat. Egy illesztőpont a fényképek átfedése miatt több felvételen is szerepel, azonban két-három azonosítást követően a program a többit automatikusan azonosítja és már csak el kell fogadni vagy pontosítani.



66. ábra: Feldolgozás folyamatábrája

Az összehasonlítás miatt ebben az esetben is szükséges volt a két pontfelhőt azonos koordinátarendszerbe transzformálni. Jelen esetben a lézerszkenneres pontfelhőt konvertáltam

EOV (Egységes Országos Vetületi) rendszerbe. Ugyanis a fotogrammetriai feldolgozás során földi illesztőpontok segítségével pontosítottam a modellt.

Az illesztőpontok koordinátáit Leica Viva GNSS vevővel, hálózati RTK korrekciós adatokkal határoztam meg, amelyek EOV rendszerben álltak a rendelkezésemre. A 21 illesztőpontot úgy választottam meg, hogy ezek a megközelítőleg 40–50 méter magasságból készített felvételeken is azonosíthatóak legyenek. A fotogrammetriai feldolgozás során az illesztőpontok megadását követően a modell megbízhatósága vízszintes értelemben 2–3 cm, magassági értelemben 6 cm. A műholdas helymeghatározási módszer hátránya, hogy megközelítőleg 2–3 cm-es a megbízhatósága, és ez a hiba minden felmért pont esetében eltérő. Nagyobb pontosság biztosítható mérőállomásos felmérés során, ahol az egy álláspontból meghatározott koordináták egymáshoz képest megbízhatóbbak. Továbbá az EOV rendszer a nagy földrajzi kiterjedése miatt vetületi torzulásokkal terhelt, ezért használata megfontolandó, mérnöki feladatok során célszerű helyi koordinátarendszert kialakítani. Ugyanakkor a láthatósági vizsgálatok esetében nem szükséges mérnökgeodéziai pontosság biztosítása, ezért a korrekciós adatokkal korrigált EOV rendszerű illesztőpontokkal dolgoztam a feldolgozás során, és ehhez a rendszerhez transzformáltam az addig lokális rendszerű TLS alapján készített pontfelhőt.

A koordináta transzformációt követően az 4.6.1-es fejezetben bemutatott eljárást alkalmaztam, hogy elkészüljenek a referencia síkok. Mindkét felmérési módszerhez készítettem elindulási és közeledési nézőpontokból elemzést. Ez összesen négy változatot jelent, amelyeket a 67. és 68. ábrák mutatnak.

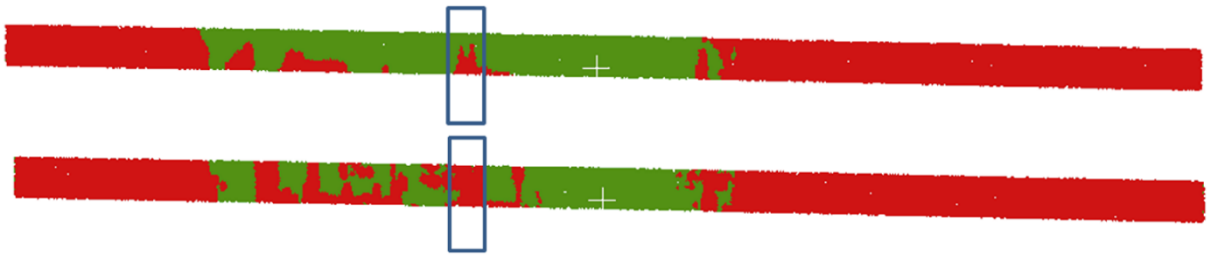
Az elindulási szituációban a lézerszkenner alapján 28%-a, drón alapján 38%-a látható a referencia síknak (69. ábra), a közeledési referencia síkból a lézerszkenneres felmérés alapján 11%, drón alapján 13%-ban látható (70. ábra), azaz egyik helyzetben 10% második esetben 2% az eltérés.

67. ábra: Láthatósági elemzés lézerszkenneres felmérés alapján

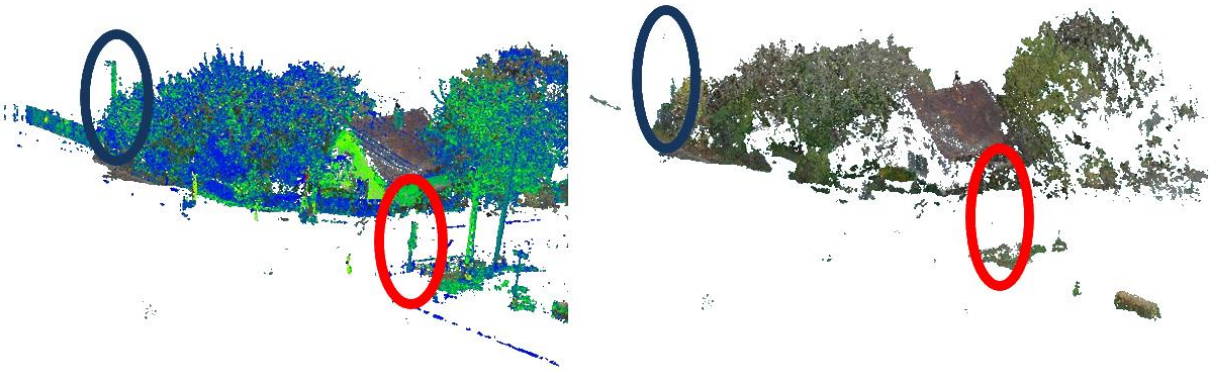
68. ábra: Láthatósági elemzés fotogrammetria alapján

A négy referencia sík szemrevételezése során észrevehető, hogy közeledési szituációban a zöld szakaszok hossza hasonló, azonban magassági értelemben eltérők. A 70. ábrán egy négyzettel jelöltem egy ilyen esetet, a négyzet azonos helyszínt jelöl mindkét pontfelhőben, a drón alapján a kitakarást okozó akadály alacsony, a lézerszkenner alapján magas objektum. A 71. ábra a pontfelhőben mutatja a kitakarást okozó objektumokat. Piros körrel egy KRESZ táblát, kék körrel egy kandelábert jelöltem. Mindkét esetben keskeny és magas objektum okozta az eltérést. A fotogrammetriai kiértékelés során a magassági értékek a perspektív torzulásból származnak. Magassági értelemben eleve nagyobb a bizonytalanság, mint a vízszintes koordináták esetében, ezért a felszínmodell megalkotása során bizonytalanabbul kezeli a keskeny és magas objektumokat.

69. ábra: Elindulási referencia síkok 2 x 500 m (felső ábra: lézerszkenner, alsó ábra: drón)



70. ábra: Közeledési referencia síkok 2 x 45 m (felső ábra: lézerszkenner, alsó ábra: drón)



71. ábra: Oszlop jellegű tereptárgyak hiányossága

A szemrevételezés mellett további összehasonlításhoz a referencia síkon külön válogattam azokat a pontokat (72. és 73. ábra), amelyek lézerszkenner és a drón alapján is láthatóak (zöld), illetve csak lézerszkennerrel (kék) vagy drónnal (sárga). Piros színnel azok a pontok vannak jelölve, amelyek egyik felmérés szerint sem láthatóak. Az eltéréseket százalékosan a 20. táblázat mutatja.

72. ábra: A pontok láthatósági besorolásának különbségei elindulási helyzetben

73. ábra: A pontok láthatósági besorolásának különbségei közeledési helyzetben

20. táblázat: Pontok láthatósága felmérési módszerek szerint

Felmérési eszközök	Látható pontok aránya elindulási helyzetben	Látható pontok aránya közeledési helyzetben	A 72. és 73. ábrákon alkalmazott jelölés színe
Drón és lézerszkenner	26%	11%	zöld
Lézerszkenner	11%	0%	kék
Drón	2%	2%	sárga
Egyik szerint sem látható	61%	87%	piros

4.7.3 Az összehasonlító elemzések tapasztalatai

A referencia sík segítségével a TLS-en túl további, pontfelhő előállítására szolgáló technológiákat vizsgáltam és hasonlítottam össze a lézerszkenneres technológiával. A két összehasonlító vizsgálat az autonóm járműveken alkalmazott LiDAR érzékelőkkel és az UAV eszközzel készített fotogrammetriai eljárással foglalkozott. A pontfelhő előkészítő lépéseit leszámítva mindkét esetben ugyanúgy tudtam alkalmazni a referencia síkon történő kiértékelés módszerét. A TLS és az autonóm járműre szerelt LiDAR felmérés négy százalékos eltérése kedvező eredmény.

A pontfelhő fotogrammetriai előállításával keletkezett maximum 10%-os eltérést szintén biztatónak tekintem, figyelembe véve, hogy az elemzés során kimutatott hiba, azaz a keskeny és magas objektumok hibás térképezése okozta eltérések hatása csökkenthető megfelelő repülési magasság és átfedések alkalmazásával. [Torres et.al., 2018.]

A felmérések és feldolgozások során a LiDAR és UAV technológiára vonatkozóan a következők a megállapításaim:

- Mindkét eljárás szerencsés abból a szempontból, hogy egyik felmérés sem zavarja a forgalmat, nem szükséges a fizikai érintés a feltérképezéshez.
- A TLS mérés sokkal tovább tart, mint a fényképek elkészítése UAV eszközzel vagy bejárás autonóm járművel.
- A lézerszkenneres felmérés ideje alatt lezajló mozgások és közlekedő eszközök zajt okoznak a pontfelhőben, ezeket utólag a feldolgozáskor le kell tisztítani.
- Mindegyik eljárás feldolgozásához nagy erőforrással rendelkező számítógépre van szükség.
- Mindegyik eljárás során számszerű és mérhető eredményeket kaptunk, ellentétben az előírás szerinti szubjektív vizuális felméréssel.

4.8 2. tézis

Az elsőbbséggel rendelkező út láthatóságának elemzésére bevezettem a referencia sík fogalmát, amely az úttengely, ill. a forgalmi sáv tengelyvonalában elhelyezkedő függőleges sík, ill. felület (22. ábra, 3.4 fejezet). A megfigyelési pontból az akadályokat erre vetítve meghatározhatók a látható és a takart pontok. A látható pontok és a sík területének

arányaként definiáltam a referencia sík láthatósága elnevezésű mérőszámot a csomópont láthatóságának globális jellemzésére.

Megállapítottam, hogy a térbeli pontfelhős modellben a referencia sík hatékonyabban alkalmazható, mint az eddigi vízszintes síkbeli tengelyvonal.

A kiértékelési eljárás során lézerszkenneres felméréseket végeztem öt helyszínen, helyszínenként két-három eltérő megfigyelési pontból. Elindulási és közeledési látómezőkre vonatkozóan határoztam meg a referencia sík láthatóságát. Mindegyik esetben 100 méter hosszú látótávolságot alkalmaztam az eredmények összehasonlíthatósága érdekében.

Az eredményeket az 58. ábra mutatja, ahol a referencia sík látható részeit zöld színnel, a takart részeket pirossal jelenítettem meg. A sávokon a referencia sík láthatósági arányán túlmenően vizuálisan azonosítható az akadályok térbeli eloszlása is.

A tézishez kapcsolódó publikációk:

1. Magyari, Z., Koren, C.: Lézerszkennerrel felmért közlekedési csomópontok láthatósági vizsgálata referencia sík segítségével. Geodézia és Kartográfia. 2023. évi 1. sz. (2023) (Megjelenés alatt)
2. Magyari, Z., Koren C.: Assessment of visualobstructions at unsignalized intersections. Konferenciakiadvány: 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Győr (2021), pp. 407–410.
3. Magyari, Z., Koren, C.: Spatial visibility investigation methods of road intersections. Kutatási jelentés: Kutatási jelentés 2. – Research Report, Universitas-Győr Nonprofit Kft. (2020) pp. 127-134.
4. Magyari, Z., Koren, C.: Visibility indicators for intersection safety investigations. Konferenciakiadvány: 4th International Conference on Traffic and Transport Engineering, Belgrád (2018), pp. 751–757.

5 LÁTHATÓSÁG ÉRTÉKELÉSE A REFERENCIA SÍKON

Az előző fejezetekben bemutatott láthatósági vizsgálati elemzések egyik eredménye a referencia sík, ahol százalékos arányban kaptam meg, hogy milyen mértékben látható a felület. A százalékos arány hasznos mutató ugyan, de nem mindegy, hogy a látható és a takart részek hogyan oszlanak meg. E fejezet célja a százalékos arány mellett olyan mutató kialakítása és tesztelése, amely többet árul el a vizsgált csomópont láthatóságról.

5.1 Személygépjármű láthatóságának vizsgálata

A vizsgálat megközelítésének alapgondolata visszanyúl a vasúti átjárok láthatósági követelményben megfogalmazott kritériumra. Az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről szóló 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet 26.4. b) bekezdése szerint: „A rálátási háromszögben, az út tengelyének minden pontjáról ellenőrizve a 80 cm-nél magasabb pontszerű, vasúti üzemi akadályok (vasút üzemi berendezések, stb.) nem tekinthetők akadálynak, ha az akadályok együttes hossza által okozott kitakarás a rálátási háromszög vasúti tengelyében mérve oldalanként 10%-ot, vagy egy-egy akadály vasúti tengelyre vetített hossza a 20 m-t nem éri el.” [Rétlaki et.al., 2005.] Tehát a vasút esetén azokat a látási akadályokat tekinthetjük veszélyesnek, amelyek együttesen olyan egybefüggő kitakarást okoznak, hogy a vasúti jármű észlelhetőségét kizárják.

Ezt a gondolatot közúti vizsgálatra átültetve úgy értelmezhetjük, hogy akadálynak tekinthetjük azokat a látómezőben lévő objektumokat, amelyek együttes hossza által okozott kitakarás a látótávolság tengelye mentén egy kritikus távolságot meghaladja.

A vizsgálat során a kritikus járműnek egy személyautót tekintettem és négy méteres a kritikus hossz, ami felett már a kitakarást okozó objektumot látási akadálynak vettem.

5.1.1 A vizsgálat alapfeltevései

A vizsgálathoz a referencia síkon a kritikus hosszt 10 centiméteres lépésenként vizsgáltam meg. A négy méter hosszú ablakokban meghatároztam a látható és nem látható pontok arányait.

A kritikus hosszt tartalmazó ablakokat az adott szelvényponttól plusz mínusz két méteres szélességben vettem fel.

Azaz minden tizedik centiméternél meghatároztam a kritikus hossz ablakának határait, majd az ablakba eső zöld pontok számát, ami annyit jelent, hogyha a jármű az adott szelvénypontban jár, akkor meghatározható, hogy az adott pillanatban a jármű teljes kiterjedése hány százalékban látható. Ez a százalékos láthatóság abban tér el az eddig használttól, hogy itt nem a teljes referencia sík látható és takart részeinek arányát mutatja, hanem egy adott szelvényre vonatkoztatva.

A magassági lehatárolást a következőképpen hajtottam végre. Mivel a referencia szakasz magassági értelemben 80 cm magasan kezdődik és 2,5 méterig tart, a személygépkocsi magasságát 1,5 méteresnek feltételezve a referencia síkot valójában 0,8 és 1,5 méter magasságok között vizsgáltam. Az eredeti referencia síknak felső egy méterét eltávolítottam.

Összesítve létrehoztam a 70 cm magas és négy méter széles ablakot, ami egy személygépjárművet szimbolizál és megállapítottam az ablak láthatósági arányát az adott szelvényben. A szelvényeket tíz centiméterenként hoztam létre, azaz az ablakok egymással fedésben vannak. A sűrű mintavétel oka, hogy modellezze a vizsgált gépjármű előrehaladását és szinte minden pillanatban megadható legyen a láthatósága.

A korábban létrehozott 11 referencia síkon hajtottam végre a kiértékelést. Az eredményt egy olyan diagramon jelenítettem meg, amelynek x tengelye a tíz centiméteres szelvény száma, az y tengely pedig a szelvényhez tartozó ablak láthatóságának aránya.

74. ábra: Négy méteres jármű láthatósága szelvényenként

A 74. ábra a Kálóczy téri csomóponthoz tartozó látómezőt mutatja elindulási helyzet esetén. Az értelmezés segítése érdekében a 75. ábrán látható a referencia sík 70 cm-es magasságban.

75. ábra: Kálóczy téri csomópont referencia síkja

A referenciasík első (baloldali) része zajosnak tűnik, amit okozhat egy növény, majd két hosszabb takart szakaszt látunk. Mindkét szakasz meghaladja a négy métert, ezért azokon a helyeken, ahol semekkora rész nem látszik az ablakokból, a láthatóság aránya lecsökkent nullára, a két akadály közötti szelvényekben pedig 30%-ban látható a vizsgált jármű. Ezt már nyíltabb részek követik. A középen lévő kitakarásokat azok az iránytáblák okozták, amelyeket a 46. ábrán 14. és 15. sorszámmal jelöltem.

Ezt a vizsgálatot végrehajtottam mind a 11 referencia síkra, az eredményeket a 2. számú melléklet tartalmazza.

Az ábráról leolvasható, hogy melyek azok a szelvényhatárok, amelyeknél teljesül egy kiválasztott láthatósági arány, azaz mekkora része látható a (négy méter széles) téglalapnak tekintett személygépjárműből.

Például, ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy a referencia sík mely részei láthatók legalább 70%-os arányban, akkor a jármű ezt a kritériumot a 21 és a 79. valamint a 86 és 90. szelvények között teljesíti, ami 62 méter együttesen. A teljes referencia sík hossza 100 méter, amennyiben szigorúbb, 90%-os küszöböt nézünk, akkor ez a távolság 45,4 méterre csökken.

5.1.2 Személygépjármű láthatósága

A Kálóczy téri elindulási látómező referencia síkjának láthatósági arányszáma 71,1%. Azonban az előző fejezet szerinti vizsgálat alapján a szelvényeknek csak 45,4 százalékában látható a négy méteres jármű legalább 90%-os mértékben.

Tehát a 2. tézisben megalkotott referencia sík láthatósága akár jelentősen is eltérhet egy vizsgált jármű láthatóságától. Fontos paraméter, hogy az ablak milyen arányú láthatóságát fogadjuk el. A teljes 100 százalékos láthatóság megkövetelése helyett a mérési zaj és apróbb akadályok miatt az ablakok 90%-os láthatóságot tekintem a továbbiakban elfogadhatónak.

A 21. táblázat tartalmazza a 11 helyszínre vonatkozó vizsgálat eredményeit.

21. táblázat: Szelvények kritikus láthatósága

Helyszín	Teljes referencia sík láthatósága	70 cm-es referencia sík láthatósága	Személy-gépjármű láthatósága
Kálóczy tér – elindulási	71,1%	71,6%	45,4%
Kálóczy tér – közeledési	62,6%	63,0%	23,4%
Kodály – elindulási	60,7%	59,3%	48,0%
Kodály – közeledési	44,1%	38,3%	22,3%
Zólyom – elindulási	95,1%	94,2%	86,4%
Zólyom – közeledési	52,0%	47,8%	25,0%
Szabadhegy – elindulási	47,6%	37,3%	28,5%
Szabadhegy – közeledési	41,7%	32,2%	15,7%
Egyetem – elindulási	51,5%	48,1%	34,7%
Egyetem – közeledési	40,8%	35,0%	17,9%
Egyetem – közeledési 2	20,6%	21,9%	5,1%

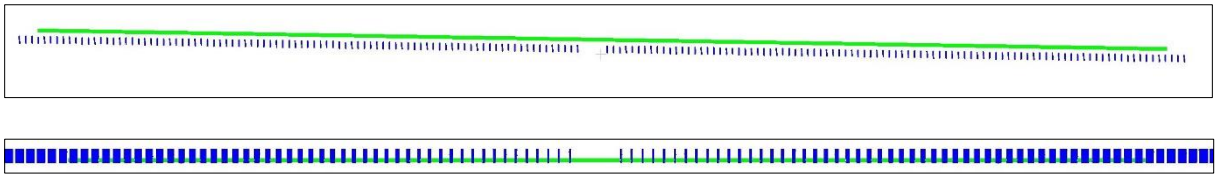
A kétféle láthatóság értelmezésének segítése miatt a 2. tézisben megfogalmazott láthatósági arányszámot a „Referencia sík láthatósága”-ként, a szelvényeken alapuló vizsgálatot 90%-os küszöbszinttel meghatározott arányszámot 4 méteres kritikus hossz esetén „Személygépjármű láthatósága”-ként különítem el.

A referencia sík értékelése többféleképpen lehetséges. Az egyik az itt bemutatott kritikus hosszúság (4 méter) biztosítottságának vizsgálata, de gondolkodhatunk úgy is, hogy egy adott méretet meghaladó kitakarásokat keresünk. A 90%-os értéket úgy határoztam meg, hogy szigorúságában közelebb legyen a jelenlegi szabályozáshoz. A láthatósági vizsgálatokat a kereszteződéstől meghatározott távolságban kell elvégezni, azonban a gyakorlatban, ha takart a csomópont, akkor a járművezető előrébb gurul, hogy jobban beláthassa a látómezőt.

5.1.3 Fasor modellezése

A személygépjármű láthatóságának jobb megismerése érdekében megvizsgáltam egy olyan modellt, amelyben az elsőbbséggel rendelkező iránnyal párhuzamosan fasor található. Az elemzést elvégeztem 10, 30 és 50 centiméter átmérőjű fatörzsek esetére és az egyszerűsítés kedvéért minden esetben csak maga a fatörzs érinti a látómezőt, a lombot magassági határ felettinek tekintettem. A távolság a fatörzsek között 1,5 méter.

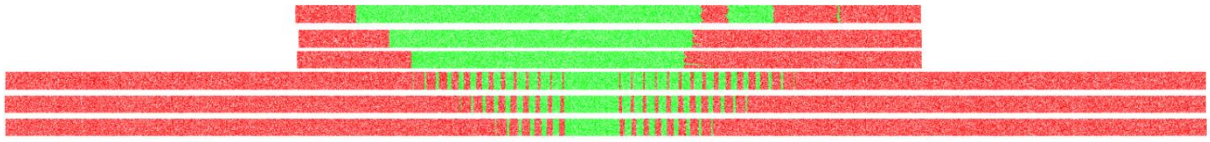
Mind a három törzsátmérő esetre elindulási és közeledési pozícióból elkészítettem a referenciasíkot, így összesen hat referencia sík keletkezett. Az elindulási helyzet esetén 50 km/h sebességhez tartozó 140 méter hosszú és közeledési helyzet esetében 270 méter hosszú referencia síkot készítettem, a nézőpontot elindulási helyzetben három méterre, közeledési helyzetben tíz méterre vettem fel.



76. ábra: 10 centiméteres átmérőjű fasor (kék) 1,5 méterenként és a referencia sík (zöld) madártávlatból és a látómező megfigyelési pontjából

A 76. ábrán madártávlatból és a megfigyelési pontból láthatók közeledési helyzetben a tíz centiméteres átmérőjű fatörzsek, mint akadályok. A zöld csík a még elemzés előtt lévő referencia sík, a kék oszlopok jelölik a fatörzseket, ahol szünet van az akadályok között, ott az út csatlakozása. Az előbbi ábra madártávlatból, az utóbbi a megfigyelési pontból mutatja a szituációt.

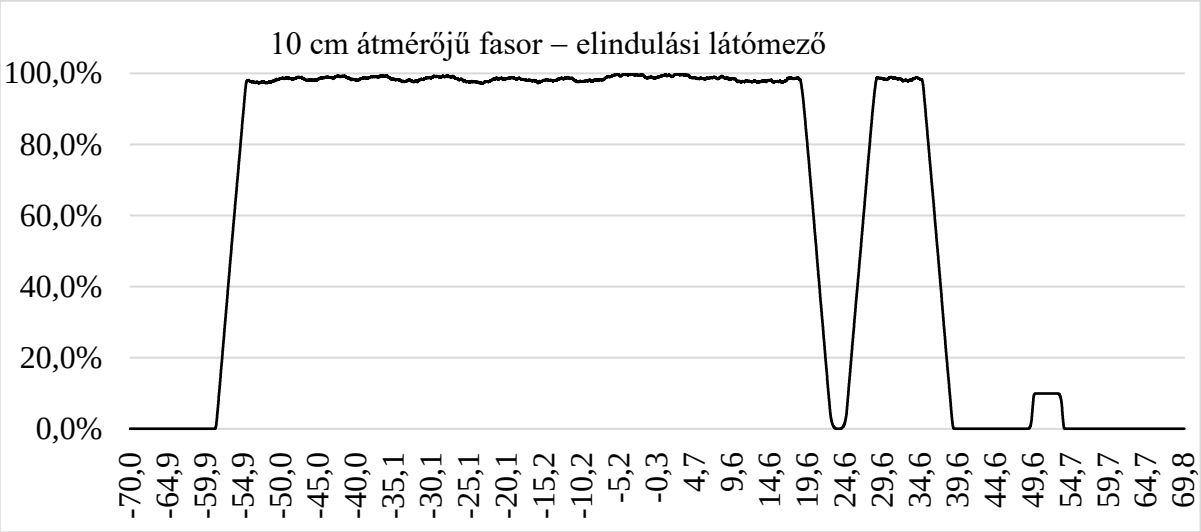
A következő ábra (77. ábra) a hat elemzett referencia sík, a felső három az elindulási helyzetet, az alsók a közeledési helyzetet mutatják és 10, 30, 50 centiméteres sorrendben követik egymást.



77. ábra: Referenciasík láthatósága szabályos fasor esetén

A referencia sík elkészítése után ezen az elméleti modellen is végigfuttattam a négy méteres ablakolást végző algoritmust, az eredményként létrejött diagramok közül a 10 cm-es fatörzsátmérőhöz tartozó diagramokat mutatják a 78. és 79. ábrák. Annak ellenére, hogy a fatörzsek szimmetrikusak, a diagramokon szembetűnik, hogy a nézőpont a jobb oldali sáv közepén lett feltéve, ezért a diagram is ennek megfelelően módosul. Az elindulási látómező esetében a fatörzsek közel voltak a megfigyelési ponthoz és nagy irányszög alatt látszódtak, ezért hamar egybefüggő látási akadályt alkottak. A 79. ábra, ami a közeledési látómezőt

mutatja, hullámzik, ami a fatörzsek közt változó mértékben látható járművet mutatja, ahogy közeledünk a csomóponthoz, úgy egyre csökken a maximálisan kitakart részek aránya.

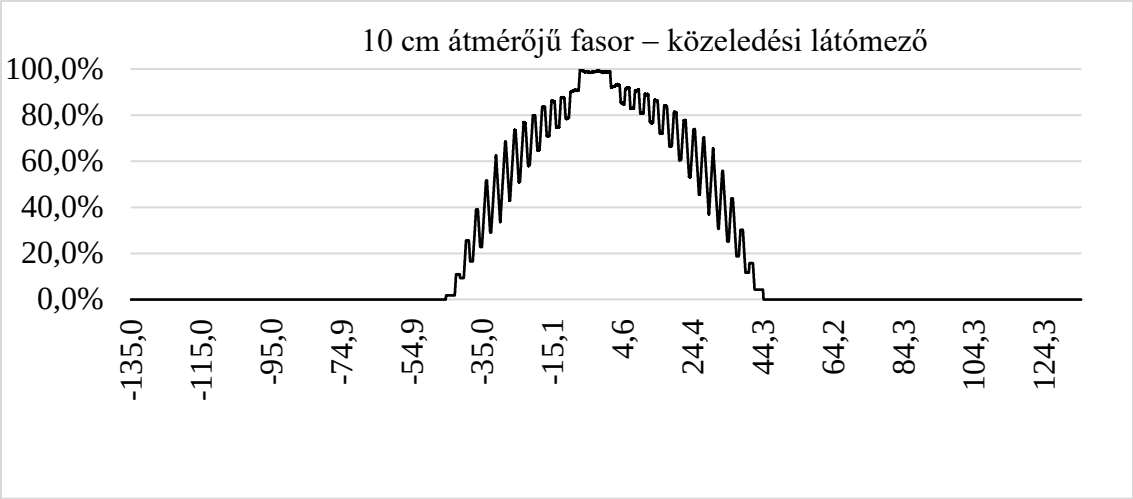


78. ábra: A 10 cm átmérőjű fasor ablakainak láthatósága szelvényenként, elindulási szituációban

A közeledési látómezőnél viszont több közt lehet látni, így a két diagram látható részeinek a lefutása eltérő. A 22. táblázat mutatja a láthatósági értékeket.

22. táblázat: Fasor modellezésének kritikus láthatósági eredményei

Látómező	Referencia sík láthatósága	Személygépjármű láthatósága
Elindulási – 10	62,8%	58,12%
Elindulási – 30	48,7%	46,61%
Elindulási – 50	43,9%	41,61%
Közeledési – 10	20,4%	6,06%
Közeledési – 30	13,8%	3,45%
Közeledési – 50	9,6%	3,43%



79. ábra: 10 cm átmérőjű fasor ablakainak láthatósága szelvényenként, közeledési szituációban

5.2 Láthatósági osztályok kialakítása

Ahhoz, hogy egy átfogó képet kaphassunk a vizsgált csomóponti ágak beláthatóságáról, a személygépjármű 90%-os láthatósági értékének segítségével három osztályokba soroltam a referencia síkokat.

Az osztályokat A, B, C betűkkel jelöltem, melyek közül az „A” osztályú kereszteződéseket javaslom belátható csomóponti ágként kezelni. A gyengébb besorolású csomópontok felülvizsgálata javasolt.

- A: 80 – 100%, jó
- B: 40 – 79%, még elfogadható
- C: 0% – 39%, nem megfelelő

A vizsgált helyszínek közül egy helyszín „A”, kettő pedig „B” besorolást kapott. A többi helyszín „C”, azaz gyenge. A helyszínek meghatározásánál szempont volt, hogy láthatósági akadályokkal terhelt csomóponti ágakat válasszak ki, annak érdekében, hogy hatásuk kimutatható legyen, ezért is „nem megfelelő” az eredmények többsége és ezt támasztják alá a láthatósági arányszámaik, illetve a 23. táblázat és 80. ábra szerinti besorolások is. A 80. ábra nem a referencia síkokat mutatja, hanem azokat a szakaszokat jeleníti meg piros színnel, ahol a négy méteres kritikus távolságok nem érik el a 90 százalékot.

Az értékelés az alárendelt csomóponti áganként külön-külön történik. Egy-egy ág eltérő minősítést kaphat a közeledési és az elindulási helyzetet feltételezve. Ezek a minősítések egymással nem összevonhatóak. Hasonlóképpen nem vonhatóak össze a csomópont különböző ágai sem.

Az értékelési rendszer később finomítható nagyobb számú minta figyelembevételével.

23. táblázat: 11 vizsgált helyszín osztályozása

Helyszín	70 cm-es referencia sík láthatósága	Személygépjármű láthatósága	Osztályok
Zólyom – elindulási	94,2%	86,4%	A
Kálóczy tér – elindulási	71,6%	45,4%	B
Kodály – elindulási	59,3%	48,0%	B
Kálóczy tér – közeledési	63,0%	23,4%	C
Egyetem – elindulási	48,1%	34,7%	C
Zólyom – közeledési	47,8%	25,0%	C
Szabadhegy – elindulási	37,3%	28,5%	C
Kodály – közeledési	38,3%	22,3%	C
Egyetem – közeledési	35,0%	17,9%	C
Szabadhegy – közeledési	32,2%	15,7%	C
Egyetem – közeledési 2	21,9%	5,1%	C

Helyszín	Referencia sík azon részei, ahol 90%-ban látható a gépjármű	Személygépjármű láthatósága	Osztály
Zólyom – elindulási		86,4%	A
Kodály – elindulási		48,0%	B
Kálóczy tér – elindulási		45,4%	B
Egyetem – elindulási		34,7%	C
Szabadhegy – elindulási		28,5%	C
Zólyom – közeledési		25,0%	C
Kálóczy tér – közeledési		23,4%	C
Kodály – közeledési		22,3%	C
Egyetem – közeledési		17,9%	C
Szabadhegy – közeledési		15,7%	C
Egyetem – közeledési 2		5,1%	C

80. ábra: Vizsgált helyszínek osztályozása

Amennyiben az elsőbbséggel rendelkező útszakaszon jelentős a kerékpáros forgalom, akkor megfontolandó a kerékpárosokra vonatkozóan is elvégezni a szelvényeken alapuló vizsgálatot és bevonni az osztályba soroláskor. Ilyenkor figyelembe kell venni, hogy a kerékpáros közlekedési sebessége alacsonyabb, a vonatkozó látótávolság ezért rövidebb, illetve az átlag számításakor súlyozni a forgalom számlálási adatok alapján.

Amennyiben rendelkezésünkre állnak a csomópontok láthatóság szerinti besorolásai, akkor hatékonyabb beavatkozási stratégiát lehet kidolgozni a közlekedésbiztonság fokozása érdekében.

5.3 Összefoglalás

A fejezet célja a referencia sík részletesebb kiértékelésére alkalmas módszer bemutatása. A gépjármű láthatóságának meghatározásához egy kiválasztott járműtípusra vonatkozóan határoztam meg a láthatóságát minden tíz centiméteren felvett szekcióban. Egy szekció esetében a vizsgált terület határait a kritikus távolság és a jármű magassága határozza meg. Az itt bemutatott példában használt kritikus távolság négy méter, ezt az adott szekció szelvényétől ±2 méterrel vettem fel. A vizsgálat részeredménye az adott szekcióhoz tartozó ablak átláthatósága százalékban megadva, ez az ablak láthatósága. További kimutatásokhoz meghatároztam a 90 százalékos elvárt láthatósági szintet a teljes látótávolság hosszában. A vizsgálat végeredménye pedig a gépjármű láthatósági aránya megadja, hogy a referenciasík teljes hosszára vonatkozóan mekkora arányban éri el a legalább 90%-os láthatóságot. A vizsgálatot végrehajtottam a korábbi 11 mintán és egy elméleti modellen, ahol az akadályok egyenletesen vannak elhelyezve.

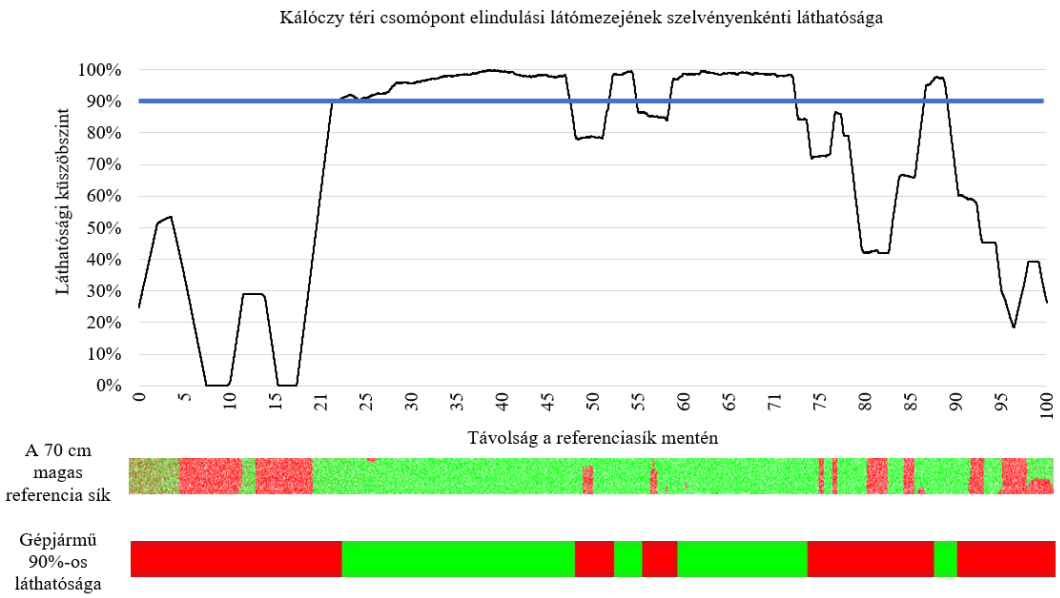
5.4 3. tézis

Bevezettem a gépjármű láthatóságán alapuló vizsgálatot, mellyel azonosítható, hogy a vizsgált helyszínen hol vannak olyan látási akadálytól mentes egybefüggő szakaszok, ahol a fölérendelt úton közlekedő 4 m hosszúságú jármű látható. A vizsgálat eredményeként megadható a láthatósági nehézséggel terhelt szelvények hossza és helyzete. Bevezettem a gépjármű láthatósága értéket, amely a teljes referencia síkra vonatkoztatva értékeli a relatív láthatóságot.

A módszer annyiban tér el a 2. tézisben ismertetettől, hogy referencia síkon a gépjárművek méretének megfelelő összefüggő szabad területeket keresünk. A gyakorlati példák és a felmérési technika sajátosságai miatt kisebb takarásokat 10% mértékben elhanyagolhatónak vettem, a kritikus hosszúság (felület) láthatóságát legalább 90 százalékos mértékben határoztam meg.

A vizsgálat alapjául a referencia sík szolgál, melyen egy szelvénypont láthatóságát a hozzá tartozó ablak láthatósága adja (pl. szelvénypont ±2 m). Az ablak hossza megegyezik a kritikus látótávolsággal (személygépjármű esetén 4 m), melynek középpontja a szelvénypont.

A 81. ábra a felmérési helyszínek egyikén (Kálóczy tér) mutatja a csomóponti ág referencia síkján a személygépjármű láthatósági vizsgálatának eredményét. A négy méteres szelvényt tíz centiméterenként léptettem előre és határoztam meg a szelvényhez tartozó ablak láthatósági arányát. A diagram függőleges tengelye az adott szelvényponthoz tartozó ablak láthatóságát mutatja meg. Nincs látási akadály és a négy méter folyamatosan biztosított, ahol ez az érték megközelíti a 100%-ot. A 81. ábrán a 90%-os láthatóság 45,4 méteren teljesül.



81. ábra: Egybefüggő 4 méteres szabad láthatóság változása a referencia sík mentén

A referencia sík értékelése többféleképpen lehetséges. Az egyik az itt bemutatott kritikus hosszúság (4 méter) biztosítottságának vizsgálata, de gondolkodhatunk úgy is, hogy egy adott méretet meghaladó kitakarásokat keresünk. A 90%-os értéket úgy határoztam meg, hogy szigorúságában közelebb legyen a jelenlegi szabályozáshoz.

A láthatósági vizsgálatokat a kereszteződéstől meghatározott távolságban kell elvégezni, azonban a gyakorlatban, ha takart a csomópont, akkor a járművezető előrébb gurul, hogy jobban beláthassa a látómezőt.

A tézishez kapcsolódó publikáció:

Magyari, Zs., Koren, Cs., Borsos, A.: Investigation of intersection visibility using a reference plane, Infrastructures, (2023) (megjelenés alatt)

5.5 4. tézis

A jármű láthatósági arányszáma alapján javaslatot tettem a csomópontok láthatósági besorolására. Háromfokozatú értékelési rendszert határoztam meg.

Az osztályokat A, B, C betűkkel jelöltem, melyek közül az „A” osztályú kereszteződéseket javaslom belátható csomóponti ágként kezelni. A gyengébb besorolású csomópontok felülvizsgálata javasolt:

- A: 80 – 100%, jó
- B: 40 – 79%, még elfogadható
- C: 0% – 39%, nem megfelelő

A vizsgált helyszínek közül (80. ábra) egy helyszín „A”, kettő pedig „B” besorolást kapott. A többi helyszín „C”, azaz nem megfelelő. A helyszínek meghatározásánál szempont volt, hogy láthatósági akadályokkal terhelt belterületi csomóponti ágakat válasszak ki, annak érdekében, hogy hatásuk kimutatható legyen, ezért is nem megfelelő az eredmények többsége.

A kialakított osztály intervallumok megengedőbbek, mint a jelenlegi szabályozás szerinti merev követelmények, de a helyszíni tapasztalatok alapján reálisnak tekinthetők.

Az értékelés az alárendelt csomóponti áganként külön-külön történik. Egy-egy ág eltérő minősítést kaphat a közeledési és az elindulási helyzetet feltételezve. Ezek a minősítések

egymással nem összevonhatóak. Hasonlóképpen nem vonhatóak össze a csomópont különböző ágai sem.

Az értékelési rendszer később finomítható, nagyobb számú minta figyelembevételével.

A tézishez kapcsolódó publikáció:

Magyari, Zs., Koren, Cs., Borsos, A.: Investigation of intersection visibility using a reference plane. Infrastructures, (2023) (megjelenés alatt)

6 AUTONÓM JÁRMŰVEK SZÁMÁRA SZÜKSÉGES LÁTÓTÁVOLSÁGOK VIZSGÁLATA

Kutatási téma szempontjából megkerülhetetlen a tény, hogy az önvezető járművek fejlesztésének egyik fontos pillére a LiDAR szenzor, melynek erőssége, hogy nagy a távmérési pontossága és a fényviszonyoktól függetlenül, sötétben is működik.

Az önvezetés elterjedése során várható egy hosszú átmeneti szakasz, amikor a hagyományos és az önvezető járművek együttesen fognak közlekedni. Azok az infrastruktúra fejlesztések, amelyek nagy mértékben elősegítenék az autonóm közlekedést, várhatóan csak lassan tudják lekövetni a járműipari fejlődést. Az önvezetéshez szükséges kommunikációs rendszerek, illetve eszközök elterjedéséhez szintén idő szükséges, ezért a kezdeti időkben egyértelműen nagyobb hangsúlyt kapnak a jármű érzékelőin alapuló rendszerek.

A 4.6.1. alfejezetben az összeghasonlító elemzések között bemutattam be, hogy a járművek LiDAR-os felmérései utólagosan felhasználhatók-e a csomópontok láthatósági elemzésére. A vizsgálat alapján kedvező eredményt kaptam.

Ezen fejezet a kutatási kérdése, hogy a tesztelésekre használt önvezető járművek LiDAR érzékelői képesek-e a jelenlegi előírásokban megfogalmazott követelmények megfelelően, szükséges távolságban és minőségben vizsgálni a látóteret. Annak ellenére, hogy a kérdést kamera és radarrendszerekre vonatkozóan is fel kell tenni, a fejezetben leszűkítem a vizsgálatot a LiDAR érzékelőkre.

A járműipari érdekeltségnek köszönhetően gyorsan fejlődik a lézeres mérésen alapuló technológia, ezért az értekezésben figyelembe vett paraméterek javulhatnak a közeljövőben. A szenzor számos jó tulajdonsága mellett, hátránya, hogy költséges eszköz. A Tesla például egyáltalán nem alkalmaz LiDAR-t, helyette kamerára támaszkodik, amit radarral egészít ki.

6.1 LiDAR érzékelők képességeinek áttekintése

Egy LiDAR érzékelő akkor képes felmérni egy objektumot, ha az a mérési tartományán belül van, azaz hatótávolságon és látószögön belül, illetve a tárgynak akkora a kiterjedése, hogy több, az azonosításhoz szükséges mennyiségű lézerjel érkezzen róla vissza a műszerbe. Minél nagyobb a műszer felbontási képessége, annál több pont keletkezik egy tárgyról adott

távolságban. A következőkben a LiDAR-nak ezt a három technikai paraméterét és határait ismertetem.

6.1.1 Távolság

A LiDAR érzékelők maximális hatótávolsága a LiDAR típusától függ, általában 120 m és 300 m között van. A 82. ábra egy Pandar64 360 fokos LiDAR mérés eredményeit mutatja különböző távolságokból. [Hesai, 2014.] A műszer felbontási szögértékének függvényében megadott sűrűséggel bocsájt ki széttartó lézerjelet. A távolság növekedésével arányosan növekszik a felmért pontok közötti távolság, például a gépjárműre eső pontok száma csökken annak távolodásával.

82. ábra: LiDAR mérései 30 és 100 méteres távolságból [Hesai, 2019.]

6.1.2 Látómező

A második mutató a látómező. A LiDAR-érzékelők nagy hatótávolságban képesek pontos méréseket végezni, és a jármű tetejére is felszerelhetők, azaz a gépjármű részei nem takarnak ki. Ennek a műszernek két különböző megvalósítása létezik: a forgótükrös LiDAR érzékelők, amelyek többsége teljes 360°-os környezetet mér fel és a solid-state LiDAR érzékelők, amelyek jellemzően 100°–120°-os látómezővel rendelkeznek. Ez utóbbiak esetén a látótér teljes lefedését több műszer elhelyezésével biztosíthatják.

6.1.3 Szögfelbontás

A harmadik mutató a szögfelbontás. A 24. táblázatban az online elérhető közzétett műszaki paraméterek szerint a szilárdtestű LiDAR legjobb értéke 0,03°, a 360°-os LiDAR esetében pedig 0,08°. Az SSL LiDAR-ok nagyobb távolságmérési tartományban vannak, és költségeik alacsonyabbak, mint a 360 fokos LiDAR-ok, ám hátrányuk a kis látómező, amely fontos a szükséges látótávolság érzékelése szempontjából.

24. táblázat: LiDAR technikai paraméterek [Velodyne, 2019.], [Quanergy, 2019.], [Innoviz, 2019], [Hesai, 2019.]

Fejlesztő	Termék típusa	LiDAR típusa	Látóterek		Szögfelbontás		Maximum hatótávolság
			Horizontális	Vertikális	Horizontális	Vertikális	
Velodyne	HDL-64E	360°	360°	26,9°	0,08°	~0,4°	120 m
Velodyne	ALFA PUCK	360°	360°	40°	0,2°	0,1°	300 m
Quanergy	M8	360°	360°	20° (+3–17°)	0,03-0,2°		150 m
Quanergy	S3-8	SSL	120°	120°	0,03		300 m
Innoviz	InnovizOne	SSL	115°	25°	0,1°	0,1°	250 m
Innoviz	InnovizPro	SSL	73°	20°	0,2°	0,45°	600 m
Hesai	Pandar64	360°	360°	40° (-25–15°)	0,2–0,4°	0,167°	200 m

6.2 Szükséges láthatósági paraméterek számítása a közlekedési csomópontoknál

Az előző fejezetben a LiDAR érzékelési képességeit mutattam be. A következőkben a három paraméter szükséges elméleti értékeit határozom meg és hasonlítom össze a hagyományos járművekre vonatkozóan.

Az előírt távolságot az elsőbbséggel rendelkező úton megengedett sebességek és az alárendelt útról a csomóponton való átkeléshez szükséges becsatlakozási időhossz határozza meg. A sebesség, a megállási látótávolság és a minimális követési időköz kapcsolata határozza meg a szükséges látótávolságot. Figyelemre méltó, hogy a követési időköz elfogadásán alapuló irányelvek szigorúbb értékeket írnak elő (pl. Ausztrália), mint azok az országok (pl. Magyarország, Németország, Lengyelország), ahol a látótávolságok eltérő kritériumokon alapulnak.

Ennek illusztrálására egy STOP táblával szabályozott csomópontban balra kanyarodó szituációt választottam. Figyelembe véve a hagyományos és az önvezető járművek közötti különbségeket, különböző becsatlakozási időközt használtam. Dixit et.al. (2016) tanulmánya szerint az autonóm jármű reakcióideje 0,8 másodperc, ami alacsonyabb, mint az emberi reakcióidő, amely 1,2 s és 2,2 s között mozog [Guzek et.al., 2012.]. Az egyszerűség kedvéért egy másodperces különbséget feltételeztem a reakcióidőkben. A hagyományos és az autonóm járművek dinamikai tulajdonságai közötti különbségeket nem vettem figyelembe. Hasonló

feltételezéseket használt [Schoettle, 2017.]. Ideális körülmények között, az emberek esetében 1,6 s, az AV-k esetében pedig 0,5 s reakcióidővel, a különbség 1,1 s volt.

6.2.1 Látótávolságok meghatározása

A 25. táblázatban szereplő értékek az AASHTO (2018) kézikönyv 7,5 másodpercből származtatott látótávolságai a balra kanyarodás esetére és az újraszámított látótávolságok 6,5 másodperces időkülönbséggel az autonóm járművekre. Az autonóm járművek előírt látótávolságaira 10–40 méterrel rövideb távolságok születtek, mint a hagyományos járműveké, mivel egy másodperccel rövidebb időkülönbség 15%-kal rövidebb előírt látótávolságot jelent. A 25. táblázatban szereplő szükséges látótávolságok a bal és a jobb oldalra egyaránt érvényesek.

Meg kell említeni, hogy 100 km/h feletti sebességnél ezek a látótávolságok lényegtelenek, mivel ezeken az utakon általában nem engedélyezett a szintbeni keresztezés.

25. táblázat: Szükséges csomóponti látótávolságok balra kanyarodási szituációban, hagyományos és autonóm járművek számára

Tervezési sebesség (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	120
Hagyományos jármű	SD (m)	65	85	105	130	150	170	190	255
Autonóm jármű	SD (m)	55	70	90	110	125	145	165	215
Látótávolságok különbsége	ΔSD (m)	10	15	15	20	25	25	25	40

A 25. táblázatban a hagyományos és az autonóm járművek látótávolságának ΔSD különbsége a 6. egyenlet alapján kiszámítható:

$$\Delta SD = \frac{(t_R^{CC} - t_r^{AC}) \cdot v}{3{,}6} \tag{6}$$

ahol:

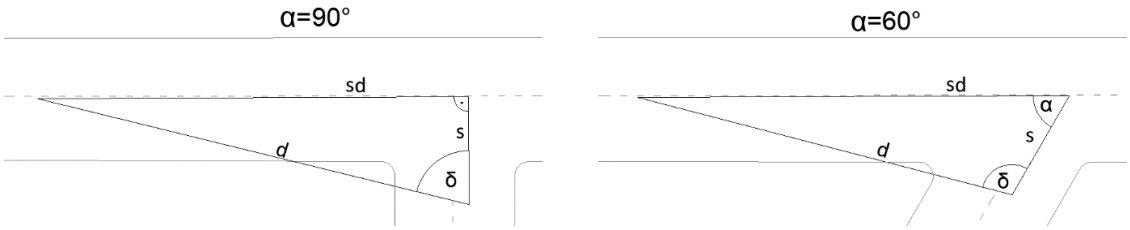
- t_R^{CC} = hagyományos jármű reakcióideje [s]
- t_r^{AC} = autonóm jármű reakcióideje [s]
- v = a védett útvonal megengedett sebessége [km/h]

A keresztezési és jobbra kanyarodási manőverekhez szükséges látótávolságokat a 26. táblázathoz hasonlóan számítottam ki, 6,5 másodperccel az emberi járművezetők és 5,5

másodperccel az autonóm járművek esetében. A szükséges látótávolságok kisebbek lettek, de a ΔSD különbség ugyanaz maradt.

6.2.2 Távolságra vonatkozó követelmények

A látóháromszög három oldala: sd, d és s (83. ábra), sd a főút mentén mért látótávolságot jelöli, amely kissé eltér a valóságban megfigyelhető d-vel jelölt távolságtól.



83. ábra: Látóháromszög paraméterei (SD, d, δ)

Balra kanyarodáskor az alárendelt úton álló jármű három méterre van a csomópont szélétől. Ha a sáv szélessége 3,5 méter, akkor az s derékszögű becsatlakozás esetén 6,5 méternek felel meg. Ha az út becsatlakozási szöge 60°, akkor az s értéke 7,04 m-re nő. A geometriai összefüggések miatt a derékszögű csatlakozás esetén az sd látótávolság hosszabb, mint d, míg 60°-os szög esetén ennek ellenkezője igaz. Az sd és d eredmények nem különböznek jelentősen, mivel az s-sel jelölt él sokkal rövidebb, mint a háromszög többi éle (lásd a 26. táblázatot).

26. táblázat: Szükséges távolságok (d)

Sebesség (km/h)	Hagyományos jármű			Autonóm jármű			Eltérés (m)	
	sd	Távolság, d (m)		sd	Távolság, d (m)			
	(m)	90°	60°	(m)	90°	60°	90°	60°
30	65	65,3	61,8	55	55,4	51,8	9,9	10,0
50	105	105,2	101,7	90	90,3	86,7	14,9	15,0
70	150	150,1	146,6	125	125,2	121,6	24,9	25,0
90	190	190,1	186,6	165	165,2	161,6	24,9	25,0
120	255	225,1	251,6	215	215,1	211,6	40,0	40,0

6.2.3 Látószögre vonatkozó követelmények

A második mutató a látómező, amelyet a járművezetőknek figyelniük kell a teljes látómező áttekintéséhez. Az irányszöget δ-val jelöltem a 83. és 84. ábrán. Ennek a szögnek a nagysága a látótávolság hosszától és a csomópont becsatlakozási szögétől függ. A fent említett forgalmi helyzet esetén a szükséges látószögeket a 27. táblázat tartalmazza. A számítás nem hozott jelentős különbségeket az autonóm és az emberi járművezetők között. Hasonló számítást

végeztem a jobb oldali látótávolságra és a másik irányú ferdeségre is, közel azonos eredményekkel.

27. táblázat: A szükséges látószög (δ)

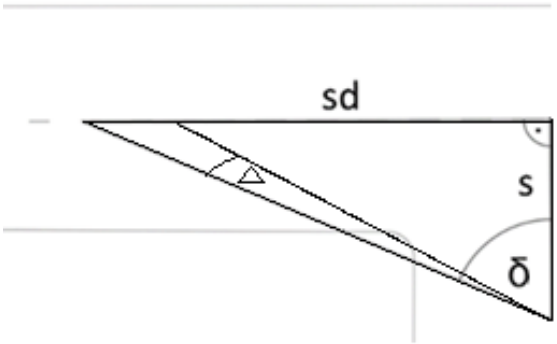
Sebesség (km/h)	Hagyományos jármű			Autonóm jármű			Eltérés (°)	
	sd	Látószög (δ)		sd	Látószög (δ)			
	(m)	90°	60°	(m)	90°	60°	90°	60°
30	65	84,3°	114,3°	55	83,3°	113,2°	1,0°	1,1°
50	105	86,5°	116,6°	90	85,9°	116,0°	0,6°	0,6°
70	150	85,5°	117,6°	125	87,0°	117,1°	0,5	0,5
90	190	88,0°	118,1°	165	87,7°	117,8°	0,3°	0,3°
120	255	88,5°	118,6°	215	88,3°	118,3°	0,3°	0,3°

A vezetőülésben az embernek korlátozott látótere van a jármű kialakítása és az ember mozgási, elfordulási képességei miatt. Az új-zélandi vasúti keresztezések tervezési irányelve a maximális még elfogadható fejelfordulási szöget határozza meg: balra 110° és jobbra 140° [NZTA, 2014.]. Megjegyezzük, hogy ezek az értékek baloldali közlekedésre, tehát jobboldali vezetőülésre érvényesek.

A kapott eredményekre vonatkozóan a ferde becsatlakozási szögek esetén a szükséges látószög nagyobb lehet, mint az NZTA által fent megadott értékek, és ez kockázati tényezőnek tekinthető az ilyen kereszteződéseknél a hagyományos járművekre vonatkozóan.

6.2.4 Szögfelbontásokra vonatkozó követelmények

A látásélességgel kapcsolatos harmadik mutató figyelembe veszi, hogy a távolság növekedésével a felbontóképesség csökken. A jármű a szükséges látótávolság végén jelenik meg, ahol a látásélesség a leggyengébb. Ebben a pillanatban kell észlelni a szembejövő autót különben nem lesz elegendő időköz a becsatlakozásra. Tegyük fel, hogy a mellékúton haladó autó szemszögéből nézve egy négy méter hosszú autó áll a szükséges látótávolság végén. Meg kell határozni a 84. ábrán Δ-val jelölt látószöget, amely a főúton szembejövő autó teljes hosszának észleléséhez szükséges (28. táblázat).



84. ábra: A szükséges szögfelbontás

A sebesség és a látótávolság növekedésével a szögfelbontás csökken. A számított értékek megfelelnek az emberi látásélességnek (~0,017°) és a legismertebb LiDAR felbontásnak.

28. táblázat: Minimum szükséges szögfelbontások

Sebesség (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	120
Hagyományos jármű	sd (m)	65	85	105	130	150	170	190	255
	Δ°	0,33	0,19	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02
Autonóm jármű	sd (m)	55	70	90	110	125	145	165	215
	Δ°	0,45	0,29	0,17	0,12	0,10	0,07	0,06	0,03

6.2.5 Láthatóság kerékpárok és kismotorok esetében

A főúton közlekedő kerékpárok és robogók külön láthatósági problémát jelentenek. A keresztmetszeten belüli helyzetük nem annyira jól kiszámítható, néha a járdát használják. Ez nemcsak a gyalogos konfliktusok miatt veszélyes, hanem a mellékútról való csökkent láthatóságuk miatt is. Ezt a helyzetet azonban itt nem vettem figyelembe; helyzetüket a járda közeli szélénél vettem fel. Méretük kisebb, mint a gépkocsiké, sebességüket pedig 10, 20 és 30 km/h-nak feltételeztem. Az előző módszerhez hasonlóan kiszámítottam a szükséges látótávolságokat, a mellékúton haladó autó szempontjából. A szükséges látószöget is meghatároztam az ember vezette és az autonóm járművekre vonatkozóan (29. táblázat).

Az autonóm járműveknek ebben a helyzetben is hasonló mértékű előnye van, mint az előző esetekben. A számított szükséges szögfelbontási értékek megfelelnek az emberi látásélességnek és a leggyakoribb LiDAR felbontásnak. Az eredmények azt mutatják, hogy a láthatóság tekintetében e járművek kisebb méretét ellensúlyozza a kisebb sebességük.

29. táblázat: Szükséges látótávolságok és szögfelbontások, kerékpáros vagy kismotoros észleléséhez

Sebesség (km/h)		10	20	30
Hagyományos jármű	sd (m)	20	40	65
	Δ°	0,24°	0,06°	0,02°
Autonóm jármű	sd (m)	20	35	55
	Δ°	0,24°	0,09°	0,04°

6.3 Összefoglalás

Általában az ember vezetési képességeit építették be a szükséges látótávolságokat meghatározó képletekbe; megvizsgáltam, hogy a gyorsan fejlődő autonóm járművek más követelményeket támasztanak-e majd. Számos szakirodalmi forrás rámutatott arra, hogy az autonóm járművek reakcióideje alacsonyabb, mint az emberé, így a szükséges látótávolságok is kisebbek lehetnek.

A feltételezéseim alapján az autonóm járművek LiDAR-érzékelői alkalmasak a látótávolságok megfigyelésére. A szükséges látótávolságok és egyéb geometriai paraméterek alapján meghatároztam a LiDAR szenzorok műszaki paramétereinek minimális értékeit, amelyeket a csomóponti szituáció biztonságos felméréséhez biztosítaniuk kell.

A látási követelmények vizsgálatakor három láthatósági paraméterrel foglalkoztam: a távolság, a látószög és a szögfelbontás élessége az autonóm járművek és az emberi járművezetők számára. A vizsgált forgalmi helyzet egy STOP-szabályozott csomópontban balra kanyarodó manőver volt. Ezeket a paramétereket külön-külön határoztam meg az autonóm járművekre és az emberi járművezetőkre és különböző megengedett sebességű védett utakra vonatkozóan, valamint 90°-os és 60°-os csatlakozási szögű csomópontokra. A számított eredmények alapján megállapítható, hogy a szükséges látótávolságok 10–40 méterrel rövidebbek az autonóm járművek esetében, mint a hagyományos járművek esetében. A látószög és a szögfelbontás tekintetében az eredmények nem mutatnak jelentős különbségeket.

Ha a tervezési irányelvekben a látótávolsági követelmények megváltoztatásában gondolkodunk, akkor igaz, hogy a csökkentett látótávolságok csak az ember vezette járművek forgalomból való kivonása után alkalmazhatók. Azonban tisztában kell lennünk azzal, hogy a jelenlegi irányelvek gyakran teljesíthetetlenek. A közúti csomópontok jelentős részében nem biztosított az előírt látómező, vagy a látómezőben olyan akadályok vannak elhelyezve, amelyek gátolják a többi közlekedési szereplő észrevételét. Feltételezhetjük, hogy az autonóm járművek

jobban tudják vagy fogják tudni kezelni ezt a problémát, mint az emberek. Ennek oka az, hogy az önvezető jármű egyszerre mindkét irányt fel tudja fedezni, míg az emberi vezetőnek el kell fordítania a fejét, ami időt vesz igénybe. Továbbá a LiDAR érzékelők több helyen is elhelyezhetők az autonóm jármű karosszériáján, hogy növeljék a látóteret. Mindezek együttesen jelentős előnyt jelentenek az autonóm jármű és a közlekedésbiztonság számára. Az előny tovább fokozható, amennyiben figyelembe vesszük a most nem vizsgált járműkommunikációs és a pozíciómegosztásban rejlő lehetőségeket.

A tanulmány alapján a látási viszonyok részletes felmérése további kutatási irányként említhető, az olyan irreális követelmények helyett, mint például az „akadálymentesnek kell lennie", a látómezőben lévő akadályok mennyiségének, jellegének és helyzetének részletes értékelése reálisabb, a gyakorlatban valóban teljesíthető követelményekhez vezetne.

A takart kereszteződések esete és a komplikált helyzetekben való döntéshozatal szintén kihívást jelent az autonóm járművek számára, de a kutatás ebben az irányban már megkezdődött pl.: Narkrsi et.al., 2021 és Wang et.al., 2020.

A jelenlegi fejlesztésű önvezető járművekre az egy másodperces érték nem igaz. A számításoknak a lefontosabb következménye, hogy az autonóm járművek tudnak manőverezni olyan csomópontokban, amelyek az emberi vezetők számára kockázatos.

6.4 5. tézis

Kimutattam, hogy miután az autonóm járművek gyorsabb reakcióidejüknek köszönhetően egy másodperccel kisebb becsatlakozási időközt is el tudnak fogadni, ezért az ilyen járművek számára 15%-kal kisebb szabadon tartandó látótávolság is elegendő.

Az egy másodperccel csökkentett becsatlakozási időköz értéket Schoettle (2017) munkájára és további szakirodalmi forrásokra alapoztam. A tézis arra az esetre vonatkozik, amikor a jármű kizárólag a saját szenzorjaira támaszkodik és a felmérések alapján navigál, nem elérhető HD térkép, pozíciómegosztás és a hálózatba kötött gépjármű technológiák (connected vehicles).

A hagyományos és az autonóm járművek látótávolságának ΔSD különbségét az alábbi egyenlet alapján határoztam meg.

$$\Delta SD = \frac{(t_R^{CC} - t_r^{AC}) \cdot v}{3,6}$$

ahol:

- t_R^{CC} = hagyományos jármű reakcióideje [s]
- t_r^{AC} = autonóm jármű reakcióideje [s]
- v = a védett útvonal megengedett sebessége [km/h]

Amennyiben a szabadon tartandó látótávolság 15%-kal kisebb, akkor a 30. táblázat szerint alakulnak a 30, 50, 70 és 90 km/h sebességű elsőbbséggel rendelkező útszakasz és a balra kanyarodásához szükséges geometriai paraméterek. Az értékek meghatározásánál az AASTHO 2018-as ajánlást vettem figyelembe és az ottani becsatlakozási időközt csökkentettem egy másodperccel.

30. táblázat: Hagyományos és autonóm járművek láthatósági követelményei a 30, 50, 70 és 90 km/h sebességekhez tartozó látómezőkhöz

Követelmény	Hagyományos jármű				Autonóm jármű			
Sebesség [km/h]	30	50	70	90	30	50	70	90
Látótávolság [m]	65	105	150	190	55	90	125	165
Látószög, teljes látómező, amit vizsgálni kell [°]	114	117	118	118	113	116	117	118
Felbontási szög, amin belül észlelni kell a látómezőben megjelenő négy méter hosszú járművet [°]	0,33	0,13	0,06	0,04	0,45	0,2	0,1	0,06

Miután a hagyományos és az autonóm járművek még sokáig együtt fognak közlekedni, a rövidebb szükséges látótávolság nem jelenti az előírások megváltoztatását. Megjegyzendő, hogy a jelenleg fejlesztés alatt álló önvezető járművek az egy másodperccel csökkentett becsatlakozási időközt még nem tudják teljesíteni. Fenti feltételezés mellett azonban az autonóm járművek képesek lesznek olyan csomópontokban is manőverezni, amelyek az emberi vezetők számára kockázatosak.

A tézishez kapcsolódó publikációk:

Magyari, Z., Koren, C., Kieć, M., Borsos, A.: Sight distances at unsignalized intersections: A comparison of guidelines and requirements for human drivers and autonomous vehicles. Archives of Transport, 59(3) (2021), pp.7–19.

Magyari, Z., Koren, C.: Alkalmasak-e az önvezető jármű LiDAR érzékelői a biztonságos közúti csomóponti látótávolságok vizsgálatára? Konferenciakiadvány: XXIV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia – ÉPKO, (2020), pp. 101–106.

Magyari, Z., Koren, C.: Impact of autonomous vehicles to visibility requirements in road junction design. Konferenciakiadvány: Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2019 Conference on Transport Sciences: Alternatív-Autonóm-Kooperatív-Komparatív Mobilitás, Győr (2019), pp. 1–6.

Irodalomjegyzék

1. 20/1984. (XII. 21) KM rendelet az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről (FMSZ) letöltés dátuma: 2023.01.05., Jogszabálykereső: https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=98400020.kmb
2. AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, The Green Book, AASHTO, (2018), pp. 199–217.
3. Alicandri, E.: Human Factors for Transportation Engineers. Konferenciakiadvány: Road Network Operations Management (ITS) and Road Safety Seminar, Santiago (2007), 2p, https://www.piarc.org/ressources/documents2/actes-seminaires07/c31-chili0407/9306,3-HF-alicandri-Chile-April-2007.pdf [letöltve: 2020.04.12.]
4. Antoniou, C., Yannis, G., Ebgenikos, P., Knowles, J., Broughton, J., Kirk, A.: A Critical Assessment of Intersection Safety Across Europe. Konferenciakiadvány: 1st International Conference on Access Management, Athens (2011), 10p
5. Austroads Ltd.: Unsignalised and Signalised Intersections. Szakmai előírás: Guide to Road Design Part 4A (2017), pp. 24–36.
6. Baier, R., Eilrich, W., Haller, W., Heinz, H., Lentz, D., Lerner, M., Maier, R., Manns, F., J., Müller-Ettler, M., Nikolaus, H., Seyboth, A., Silvanus, M., Steinbrecher, J., Topp, H., Alrutz, D., Heinz, H., Krause, K.: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. Szakmai előírás: RASt 06 - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln (2007), 124–125p
7. Brilon, W., Troutbeck, R., Tracz, M.: Review of International Practices· Used to Evaluate Un-signalized Intersections. Kiadvány: Transportation Research Board, Washington (1997), 8p, https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trcircular/468/468.pdf [letöltve: 2019.11.09.]
8. Cox, R. M., Cole, D. M., Arndt, O. K.: Development of a New time-gap Based Intersection Sight Distance Model for Heavy Vehicles. Konferenciakiadvány: 5th International Symposium on Highway Geometric Design, Vancouver (2015), 19p

9. Dixit, V. V., Chand, S., Nair, D.: Autonomous Vehicles: Disengagements. Accidents and Reaction Times. PLoS ONE, 12 (2016), 14p
10. Engler, P., Jancsó, T.: A fotogrammetria fejlődési tendenciái. Konferenciakiadvány: GisOpen konferencia, Székesfehérvár (2011), pp. 1-15.
11. Fambro, D. B., Fitzpatrick, K., Koppa, R.: NCHRP Report 400 Determination of Stopping Sight Distance. Konferenciakiadvány: Transportation Research Board, Washington DC. (1997), 138p
12. Fi, I., Golarits, P., Kőrössy, G., Takács, F., Csorja, Zs., Reinisch, E., Lányi, P., Keresztes, L.: e-UT 03.03.21, ÚT 2-1.214:2004 Szintbeni közúti csomópontok méretezése és tervezése Útügyi Műszaki Előírás (A KTSZ kiegészítése). Szakmai előírás: Magyar Útügyi Társaság, Budapest (2004), 37p
13. Guzek, M., Lozia, Z., Zdanowicz, P., Jurecki, R. S., Stanczyk, T. L., Pieniazek, W.: Assessment of Driver's Reaction Times in Diverisified Research Environments. Archives of Transport, 24(2) (2012), pp. 149-164.
14. Hartkopf, G., Bark, A., Bartz, M., Grafwallner, G., Griepenburg, D., Haller, W., Kocklke, W., Kralack, I., Kühn, W., Lemke, K., Meewes, V., Nikolaus, H., Räder-Großmann, T., Richter, T., Stöckert, R., Weber, R., Weise, G., Weiser, F., Zimmermann, M.: FGSV 201-Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Szakmai előírás, Köln (2012), 136p
15. Harwood D. W., Fanbro D.B., Fishburn B., Joubert, H., Lamm R., and Psarianos, B.: International sight distance desing practices. Kiadvány: Transportation Research Circular, 32 (1998), pp. 1-32. https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch32.pdf [letöltve: 2018.05.30.]
16. Heipke, C., Madden, M., Li, Z., Dowman, I.: Theme issue „State-of-the-art in photogrammetry, remote sensing and spatial information science" ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115 (2016), pp 1-2.
17. Hesai, Pandar64 Mechanical LiDAR, ábra és technikai leírás, http://www.hesaitech.com/en/autonomous_driving.html?param=64 [letöltve: 2019.05.29.]

18. Hóz, E., Rankli, K., Csorja, Z., Jankó, D., Kucsara T., Nagy, Z., Szabó, S.: Csomópontok és útvonalak balesetveszélyességi értékelési módszertanának kidolgozása, Közúti baleseti góchelyek azonosítása. Kiadvány: Magyar Útügyi Társaság, Budapest (2005), 32p https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/hu_-_maut_gockereso.pdf [letöltve: 20220.04.15.]
19. Innoviz, PRO és ONE LiDAR-ok technikai leírásai, https://innoviz.tech/innovizone [letöltve: 2020.05.23.]
20. Jung, J., Olsen, M., J., Hurwitz, D., S., Kashani, A., G. and Buker, K.:3D virtual intersection sight distance analysis using lidar data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 86 (2018), pp. 563-579.
21. Kraus, K.: Fotogrammetria. Könyv: Tertia Kiadó, Budapest (1994), 14p
22. Katz S., Tal A., Basri, R.: Direct visibility of points sets. ACM Transactions on Graphics, Vol. 26, No. 3 Paper No. 24. (2007), 11p
23. Keresztes L., Ajtay S., Csorja Z., Jóna P., Kovácsné N., K., Lakits G., Mocsári T., Reinisch E., Tárczy L., Vörös A., Lányi P., Kolozsi G., Stoll G., Törőcsik F., Jencs Á., Schváb J.: e-UT 03.01.11. Útügyi Műszaki előírás - Közutak Tervezése (KTSZ), Szakmai előírás: Magyar Útügyi Társaság, Budapest (2008), pp. 40–44.
24. Kibédy Z., Szőcs. K., Barsi, Á.: Közlekedési csomópont beláthatósági vizsgálata földi lézerszkenneléssel. Geomatikai Közlemények, 10. évfolyam (2007), pp. 257–264.
25. Koren C.: A közúti infrastruktúra biztonsága. Könyv: Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr (2012), 350p
26. Koren C.: Biztonságosabb közúti infrastruktúra. Könyv: Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr (2015), 418p
27. Kosztolányi-Iván, G.: Útkategóriák megkülönböztetésének vizsgálata a járművezetők által látott útkialakítás alapján. PhD Disszertáció: Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr (2015)
28. KPM Sz ÚT/3-67 Útügyi Szakmai Szabvány: Országos Közutak Tervezési Szabályzata. Könyv: Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium (1967), pp. 46–62

29. Leica Geosystems: Leica HDS6200 User Manual. Leica Geosystems AG, Heerbrugg (2010), pp.60-61.
30. Mallela, J., Mitchell, A., Gustafson, J., Olsen, M.J., Parrish, C., Gillins, D., Kumpula, M., Roe, G.V.: Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction. Kiadvány: U.S. Department of Transportation (2019), 209 p.
31. Mester G.: Autonóm önvezető robot autók. VMTT, Magyar Tudomány Napja a Délvidéken, (2017) pp. 402-417., http://www.vmtt.org.rs/mtn2017/402_417_Mester.pdf [letöltve: 2022.12.16.]
32. Mester M.: Közúti csomópontok beláthatóságának vizsgálata lézerszkennerrel. Diplomamunka: Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr (2012)
33. Miletics, D.: Külterületi csomóponti többletsávok biztonsági hatásának vizsgálata. PhD Disszertáció: Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr (2016)
34. MSZ-07-3713-86 Közlekedési Minisztérium: Közutak tervezése. Könyv: Szabványkiadó, Budapest (1986), pp. 109–112
35. Mussone, L.: The analysis of roundabouts through visibility. Procedia – Social and Behavioral Scienes, 87 (2013), pp. 250 – 268.
36. Narksri, P., Takeeuchi, E., Ninomiya, Y., Takeda, K.: Deadlock-Free Planner for Occluded Intersections Using Estimated Visibility of Hidden Vehicles. Electronics 10 (2021), 411p
37. NZTA: Traffic control devices manual. Szakmai előírás: New Zealand Transport Agency Part 9, Level crossings Second edition, (2012), 84p
38. Olsen, M.J., Hurwitz, D.S., Kashani, A.G., Buker, K.: 3D Virtual Sight Distance Analysis using Lidar Data. Konferenciakiadvány: Pacific Northwest Transportation Consortium (2015), 74p
39. Pagounis, V., Tsakiri, M. Palaskas, S. Biza, B., Zaloumi, E.: 3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction. Konferenciakiadvány: Shaping the Change XXIII FIG Congress, München (2006), 15p

40. Petkovics Á., Szabó C. A., Wippelhauser A., Varga N., Bokor L.: A V2X járműkommunikáció alapjai, Útügyi Lapok, (2020), DOI: 10.36246/UL.2020.2.01 https://utugyilapok.hu/cikkek/a-v2x-jarmukommunikacio-alapjai [letöltve: 2022.12.16.]

41. Petrović, Đ., Mijailović, R., Pešić, D.: Traffic accidents with autonomous vehicles: Type of collisions, manoeuvres and errors of conventional vehicles' drivers. Transportation Research Procedia, volume 45 (2020), pp. 161–168.

42. Quanergy, M8 és S3 LiDAR-ok technikai leírása, https://quanergy.com [letöltve: 2019.05.29.]

43. Raff, M. S.: A volume warrant for urban stop signs. Traffic Engineering and Control, 5/1983 (1950), pp. 255–258.

44. Rétlaki, L., Kovács, V., Mocsári, T., Schile, F., Lányi, P., Stoll, G., Törőcsik, F., Keresztes, L., Csorja, Z.: e-UT 03.06.11 Szintbeni közúti-vasúti átjárok kialakítása Útügyi Műszaki előírás. Szakmai előírás: Magyar Útügyi Társaság, Budapest (2005), pp. 16–19.

45. Robinson, B. W., Rodegerdts, L., Scarborought, W., Kittelson, W., Troutbeck, R., Brilon, W., Bondzio, L., Courage, K., Kyte, M., Mason, J., Flannery, A., Myers, E., Bunker, J., Jacquemart, G.: Roundabouts: An Informational Guide FHWA-RD-00-067, U.S. Szakmai előírás: Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia (2000). 277p.

46. Schoettle, B.: Sensor fusion: A comparison of sensing capabilities of human drivers and highly automated vehicles. Kutatási jelentés: Sustainable Worldwide Transportation, University of Michigan (2017), pp. 11–12. http://websites.umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-12.pdf [letöltve: 2019.12.03.]

47. Strauss, M., Carnahan, J.: Distance Estimation Error in a Roadway Setting. The Police Journal, Vol 8. Issue 3. (2009), pp. 247-264. https://doi.org/10.1350/pojo.2009.82.3.458 [letöltve: 2021.06.05.]

48. Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, https://jkk-web.sze.hu/wp-content/uploads/2021/02/Nevtelen-terv-37.png [letöltve: 2022.12.08.]

49. Tarsoly, P., Tóth, Z.: Geodézia- 15 Automatizáció a terepi adatgyűjtésben. Könyv: TÁMOP -4.1.2-08/1/A-2009-0027, Székesfehérvár (2011), pp. 15–18.

50. TD 42/95 - Geometric Design of Major/Minor Priority Junctions. Szakmai előírás: The Highways Agency, volume 6 Section 2 Part 6, Egyesült Királyság (1995), pp. 25–29.

51. TD 16/07 - Geometric Design of Roundabouts. Szakmai előírás: The Highways Agency, volume 6 Section 2 Part 3, Egyesült Királyság (2007), pp. 8–17.

52. Tobler, W. R.: A Computer Model Simulating Urban Growth in the Detroit Region. Economic Geography, 46 (2) (1970), pp. 234–240.

53. Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Borra-Serrano, I., Peña, j. M.: Assessing UAV-collected image overlap influence on computation time and digital surface model accuracy in olive orchards. Precision Agric, volume 19 (2018), pp. 115–133.

54. Toth, C., Jóźków, G.: Remote sensing platforms and sensors: A survey ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115 (2016), pp. 22–36

55. Troutbeck, R. J.: Estimating the mean critical gap. Journal of the Transportation Research Board, 2461(2014), pp. 76–84.

56. ÚT 2-1.206 Körforgalmak tervezése. Szakmai előírás: Magyar Út- és Vasútügyi társaság, Budapest (2011), pp. 16–19.

57. Velodyne, HDL-64E és ALFA PUCK LiDAR-ok technikai leírása, https://velodyneLiDAR.com/downloads/ [letöltve: 2019.05.29.]

58. Wang, P., Li, L., Cheng, S., Gao, S.: Research on driving behavior decision making system of autonomous driving vehicle based on benefit evaluation model. Archives of Transport, 53(1) (2020), pp. 21–36.

59. WCP Publishes ADAS/Autonomous Sensing Industry: Beyond the Headlights. Kiadvány: Woodside Capital Partners, Palo Alto (2016), 19p

60. Weber, R., Barrell, J., Beenker, N., Broeren, P., Hogema, J., Schermers, G.: Final report. European Sight distances in perspective EUSight. Kiadvány: CEDR Transnational Road Research Programme, Final Report Deliverable D8.1, Amersfoort (2016), 3p

61. Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., Yan, G.: An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing, 8(6):501 (2016). pp. 1–22.

Saját publikációk

1. Borsos, A., Koren, C., Makó, E., Miletics, D., Nagy, R., Fahad, M., Magyari., Z.: Road environment for autonomous vehicles. Konferenciakiadvány: XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia: „Közlekedés a Járvány után: folytatás vagy újrakezdés", Győr (2021), pp. 140−147.
2. Magyari, Z., Koren C.: Assessment of visualobstructions at unsignalized intersections. Konferenciakiadvány:12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Győr (2021), pp. 407–410.
3. Magyari, Z., Koren, C., Kieć, M., Borsos, A.: Sight distances at unsignalized intersections: A comparison of guidelines and requirements for human drivers and autonomous vehicles. Archives of Transport, 59(3) (2021), pp.7–19.
4. Magyari, Z., Koren, C.: Alkalmasak-e az önvezető jármű LiDAR érzékelői a biztonságos közúti csomóponti látótávolságok vizsgálatára? Konferenciakiadvány: XXIV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia – ÉPKO, (2020), pp. 101–106.
5. Magyari, Z., Koren, C.: A comparison of capabilities of human drivers and autonomous vehicles. Konferenciakiadvány: 8th Transport Research Arena, (2020), Paper 638.
6. Magyari, Z., Koren, C.: Spatial visibility investigation methods of road intersections. Kutatási jelentés: Kutatási jelentés 2. – Research Report, Universitas-Győr Nonprofit Kft. (2020) pp. 127−134.
7. Magyari, Z., Koren, C.: Visibility studies at roundabouts entries. Pollack Periodica, 14(3) (2019), pp. 63–74.
8. Magyari, Z., Koren, C.: A közúti csomópontok beláthatóságát befolyásoló tényezők. Kutatási jelentés: Kutatási jelentés 1, Universitas-Győr Nonprofit Kft. (2019) pp. 42-53.
9. Magyari, Z., Koren, C.: Impact of autonomous vehicles to visibility requirements in road junction design. Konferenciakiadvány: Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2019 Conference on Transport Sciences: Alternatív-Autonóm-Kooperatív-Komparatív Mobilitás, Győr (2019), pp. 1−6.

10. Magyari, Z., Koren, C.: Visibility indicators for intersection safety investigations. Konferenciakiadvány: 4th International Conference on Traffic and Transport Engineering, Belgrád (2018), pp. 751–757.
11. Magyari, Z.: Közlekedési csomópontok láthatósági nehézségei és a balesetek összefüggései. Műszaki Katonai Közlöny, 2018/1 (2018), pp. 49–59.
12. Magyari, Z.: Települések közti hiányzó útkapcsolatok feltárása és elemzése. Az Aszfalt, 20(2) (2015), pp. 28–33.
13. Magyari, Z.: Települések közti hiányzó útkapcsolatok feltárása és elemzése. Konferenciakiadvány: 4. Közlekedéstudományi hallgatói és PhD konferencia, Budapest (2014), pp. 15–24.

Ábrajegyzék

1. ábra: Közúti balesetek okai rendszerszemléletű közelítés alapján [Alicandri, 2007.] ... 7
2. ábra: Elindulási látóháromszög ... 23
3. ábra: Közeledési látóháromszög ... 23
4. ábra: Közeledési látómező az e-UT 03.03.21 számú előírás alapján [Fi et.al., 2004.] ... 24
5. ábra: Közeledési látómező az e-UT 03.01.11 számú előírás alapján [Keresztes et.al., 2008] ... 25
6. ábra: Vasúti átjáró rálátási területe [Rétlaki et.al., 2005.] ... 25
7. ábra: Közeledési látótávolság [MSZ-07-3713-86, 1986.] ... 29
8. ábra: Elindulási látómező [MSZ-07-3713-86, 1986.] ... 30
9. ábra: Egyenrangú utak [MSZ-07-3713-86, 1986.] ... 31
10. ábra: Körforgalom látómezője ... 39
11. ábra: Lézerszkennerrel felmért csomópont térbeli modellje ... 41
12. ábra: TLS (bal) és 128 csatornás LiDAR (jobb) felvétele ugyanarról a csomópontról ... 42
13. ábra: Pontfelhő a Széchenyi István Egyetem környékéről, autonom jármű LiDAR felmérése ... 42
14. ábra: Érzékelt területek [Schoettle, 2017.] ... 54
15. ábra: Látószög derékszögű becsatlakozás esetén [saját szerkesztés] ... 59
16. ábra: Látószög α szögű becsatlakozó út esetén [saját szerkesztés] ... 60
17. ábra: Út szélén, szabályosan parkoló járművek takarása ... 61
18. ábra: Látómező akadályokkal ... 62
19. ábra: Látószög növekedésének kitakarása ... 62
20. ábra: KRESZ-tábla oszlopának kitakarása ... 63
21. ábra: Láthatósági elemzés pontfelhős modellben Cloud Compare szoftverrel ... 65
22. ábra: Referencia sík ... 65
23. ábra: Zenitszög ... 66
24. ábra: Kritikus négy méteres kitakarást okozó „δ” és „α” párosok elindulási helyzet és derékszögű becsatlakozás esetén ... 67
25. ábra: Kritikus négy méteres kitakarást okozó „δ” és „α” párosok elindulási helyzet és 60°-os becsatlakozási szög esetén ... 68
26. ábra: Távérzékelési mérőeszközök, balra a Lézerszkenner, középen a drón és jobb szélén a Nissan Leaf [JKK, 2022.], amelyre LiDAR érzékelőket szereltek ... 71
27. ábra: Kálóczy téri körforgalom (Forrás: © OpenStreetMap contributors) ... 73
28. ábra: Kodály Zoltán utcai helyszín ... 74
29. ábra: Kodály Zoltán utcai helyszín pontfelhője ... 75
30. ábra: Zólyom utcai helyszín ... 75
31. ábra: Győr, Szent Imre úti vasúti átjáró (Forrás: Térképadatok © Google, 2018) ... 76
32. ábra: „T” Csomópont a Széchenyi István Egyetem területén ... 76
33. ábra: Lézerszkennerrel felmért csomópont térbeli modellje ... 77
34. ábra: Leica jeltárcsa ... 78
35. ábra: A mozgásban lévő járművek által keltett zaj ... 78
36. ábra: Kitakaró objektumok a vizsgált nézőpontból ... 79
37. ábra: Kitakaró objektumok felülnézetből ... 79
38. ábra: HPR algoritmussal készített takarási ábra a Győr szabadhegyi vasúti átjáróban ... 80
39. ábra: Oktális fa struktúra ... 81
40. ábra: 120°-os látószögű nézet ... 82
41. ábra: 170°-os látószögű nézet ... 82
42. ábra: Láthatósági mérőszámok értelmezése körforgalomra ... 84
43. ábra: Elindulási látómező ... 85
44. ábra: Közeledési látómező ... 86
45. ábra: Látható és nem látható pontok ... 86
46. ábra: látási akadályok ... 87
47. ábra: Láthatósági mérések elindulási látómező esetében ... 88
48. ábra: Látható és takart részek a referencia síkon ... 91
49. ábra: Az előkészített pontfelhő ... 92
50. ábra: Talajpontok ... 93

51. ábra: Csomópont jellemző pontjainak felmérése ... 94
52. ábra: Közeledési látómező szerkesztése ... 94
53. ábra: Látómezőben lévő pontok ... 94
54. ábra: Referencia sík ... 95
55. ábra: Az elemzés eredménye, a kiértékelt referencia sík ... 95
56. ábra: Elemezett pontfelhő a gépjárművezető szemszögéből ... 96
57. ábra: Elemezett pontfelhő felülnézetből ... 96
58. ábra: Láthatósági elemzés eredménye referencia síkra vetítve ... 97
59. ábra: TLS és MLS felmérésekből származó pontfelhők ... 98
60. ábra: MLS pontfelhő szegmentálása ... 98
61. ábra: MLS pontfelhőjének transzformálása a TLS pontfelhőre ... 99
62. ábra: A vizsgálat eredménye a MLS alapján ... 100
63. ábra: TLS és MLS felmérések alapján készített referencia síkok összehasonlítása ... 100
64. ábra: Szabadhegyi átjáró lézerszkennerrel készített pontfelhője ... 101
65. ábra: Drónnal készített pontfelhő ... 101
66. ábra: Feldolgozás folyamatábrája ... 102
67. ábra: Láthatósági elemzés lézerszkenneres felmérés alapján ... 103
68. ábra: Láthatósági elemzés fotogrammetria alapján ... 104
69. ábra: Elindulási referencia síkok 2 x 500 m (felső ábra: lézerszkenner, alsó ábra: drón) ... 104
70. ábra: Közeledési referencia síkok 2 x 45 m (felső ábra: lézerszkenner, alsó ábra: drón) ... 104
71. ábra: Oszlop jellegű tereptárgyak hiányossága ... 105
72. ábra: A pontok láthatósági besorolásának különbségei elindulási helyzetben ... 105
73. ábra: A pontok láthatósági besorolásának különbségei közeledési helyzetben ... 105
74. ábra: Négy méteres jármű láthatósága szelvényenként ... 109
75. ábra: Kálóczy téri csomópont referencia síkja ... 110
76. ábra: 10 centiméteres átmérőjű fasor (kék) 1,5 méterenként és a referencia sík (zöld) madártávlatból és a látómező megfigyelési pontjából ... 112
77. ábra: Referenciasík láthatósága szabályos fasor esetén ... 112
78. ábra: A 10 cm átmérőjű fasor ablakainak láthatósága szelvényenként, elindulási szituációban ... 113
79. ábra: 10 cm átmérőjű fasor ablakainak láthatósága szelvényenként, közeledési szituációban ... 114
80. ábra: Vizsgált helyszínek osztályozása ... 115
81. ábra: Egybefüggő 4 méteres szabad láthatóság változása a referencia sík mentén ... 117
82. ábra: LiDAR mérései 30 és 100 méteres távolságból [Hesai, 2019.] ... 121
83. ábra: Látóháromszög paraméterei (SD, d, δ) ... 124
84. ábra: A szükséges szögfelbontás ... 126

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Fény- és útviszonyok hatása [Pagounis et.al. 2006.] ... 17
2. táblázat: Távolságok hatása [Pagounis et.al. 2006.] ... 18
3. táblázat: Mintavételezés sűrűsége és a környezeti viszonyok hatása [Pagounis et.al. 2006.] ... 18
4. táblázat: Publikációk összefoglalása ... 21
5. táblázat: Közúton mért távolságok a rálátási háromszög meghatározásához ... 26
6. táblázat: Megállási látótávolságok [KPM Sz ÚT/3-67, 1967.] ... 27
7. táblázat: [MSZ-07-3713-86, 1986.] ... 29
8. táblázat: A csomóponti mozgásokhoz szükséges időközök [MSZ-07-3713-86, 1986.] ... 30
9. táblázat: Angol, német és magyar csomóponti látómezők összehasonlítása ... 32
10. táblázat: Követési időközök az alárendelt útról történő elindulásról [AASHTO, 2018.] ... 37
11. táblázat: Felmérési módszerek összehasonlítása ... 48
12. táblázat: Önvezető jármű szenzorjain alapuló képességek összehasonlítása az emberi képességekkel, Schoettle, 2017 és WCP 2016 tanulmányok alapján átdolgozva ... 54
13. táblázat: Látószögek alakulása három méterre az út szélétől, hét méteres útszélesség ... 60
14. táblázat: Láthatósági paraméretek bemutatása ... 64
15. táblázat: Leica HDS6200-as lézerszkenner választható mérési felbontásai ... 72
16. táblázat: A Járműipari Kutató Központ LiDAR eszközei a felmérés során ... 72
17. táblázat: Felmérési helyszínek ... 73
18. táblázat: Láthatósági mérések elindulási látómezőre vonatkozóan ... 89
19. táblázat: Láthatósági értékek a közeledési látómezőben ... 90
20. táblázat: Pontok láthatósága felmérési módszerek szerint ... 105
21. táblázat: Szelvények kritikus láthatósága ... 111
22. táblázat: Fasor modellezésének kritikus láthatósági eredményei ... 113
23. táblázat: 11 vizsgált helyszín osztályozása ... 115
24. táblázat: LiDAR technikai paraméterek [Velodyne, 2019.], [Quanergy, 2019.], [Innoviz, 2019], [Hesai, 2019.] ... 122
25. táblázat: Szükséges csomóponti látótávolságok balra kanyarodási szituációban, hagyományos és autonóm járművek számára ... 123
26. táblázat: Szükséges távolságok (d) ... 124
27. táblázat: A szükséges látószög (δ) ... 125
28. táblázat: Minimum szükséges szögfelbontások ... 126
29. táblázat: Szükséges látótávolságok és szögfelbontások, kerékpáros vagy kismotoros észleléséhez ... 127
30. táblázat: Hagyományos és autonóm járművek láthatósági követelményei a 30, 50, 70 és 90 km/h sebességekhez tartozó látómezőkhöz ... 129

Mellékletek

1. számú melléklet
    1. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok személygépjármű észleléséhez – elindulási látómező
    2. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok személygépjármű észleléséhez – közeledési látómező
    3. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok gyalogos észleléséhez – elindulási látómező
    4. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok gyalogos észleléséhez – közeledési látómező
    5. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok kerékpárosok észleléséhez – elindulási látómező
    6. Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok kerékpárosok észleléséhez – közeledési látómező
2. számú melléklet
    1. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Kálóczy téri csomópont elindulási látómező
    2. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Kálóczy téri csomópont közeledési látómező
    3. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Kodály Zoltán utcai csomópont elindulási látómező
    4. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Kodály Zoltán utcai csomópont közeledési látómező
    5. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Zólyom utcai csomópont elindulási látómező
    6. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Zólyom utcai csomópont közeledési látómező
    7. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Szabadhegyi vasúti átjáró elindulási látómező
    8. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Szabadhegyi vasúti átjáró közeledési látómező
    9. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Széchenyi István Egyetem – belső utcai csomópont elindulási látómező
    10. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Széchenyi István Egyetem – belső utcai csomópont közeledési látómező
    11. Kritikus láthatósági mutató meghatározása – Széchenyi István Egyetem – belső utcai csomópont közeledési látómező

Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok személygépjármű észleléséhez

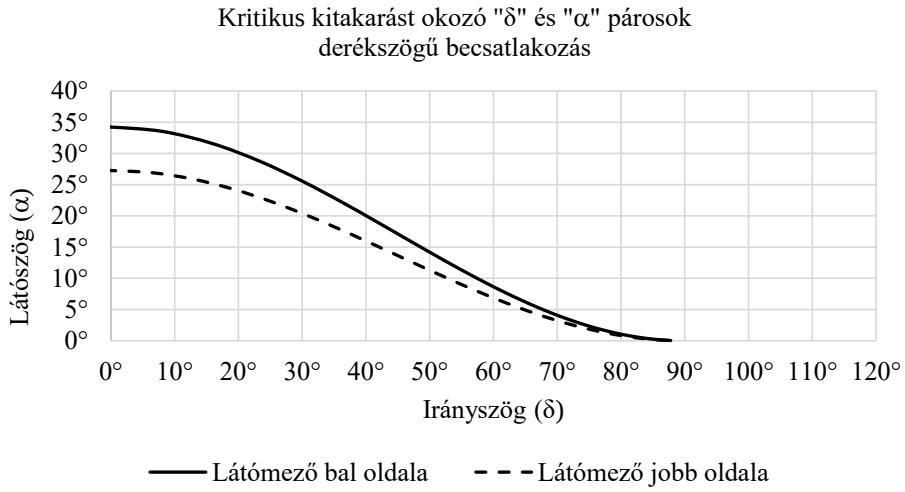
Elindulási látómező

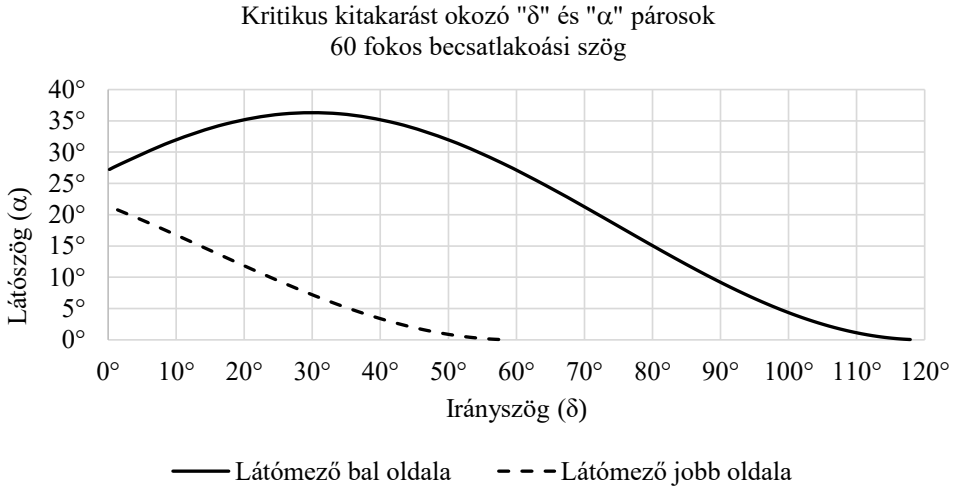
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	4
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	3,5
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	3
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	6,50
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	8,25

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	4
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	3,5
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	3
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	7,04
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	9,06

* 60° és 90° között változhat.

** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.





A diagram görbéje feletti szögérték párosítással rendelkező akadályok négy métert meghaladó kitakarást képesek okozni a látótávolság vonalában.

Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok személygépjármű észleléséhez

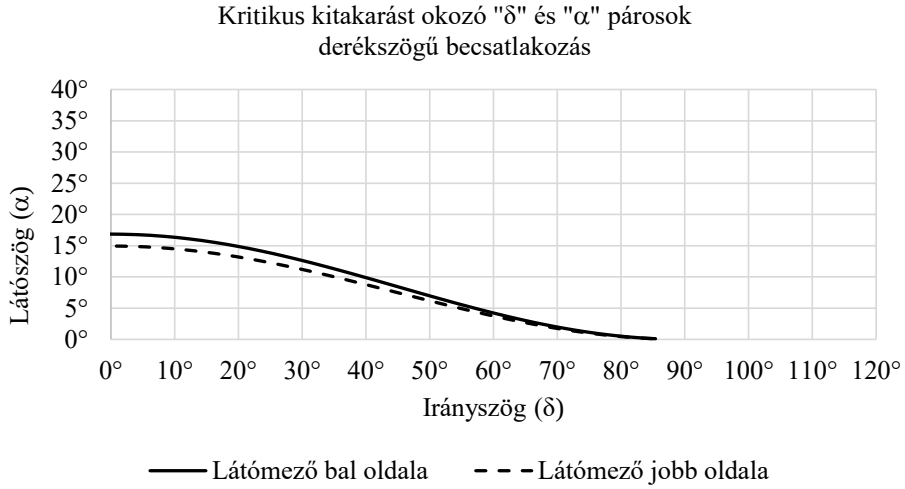
Közeledési látómező

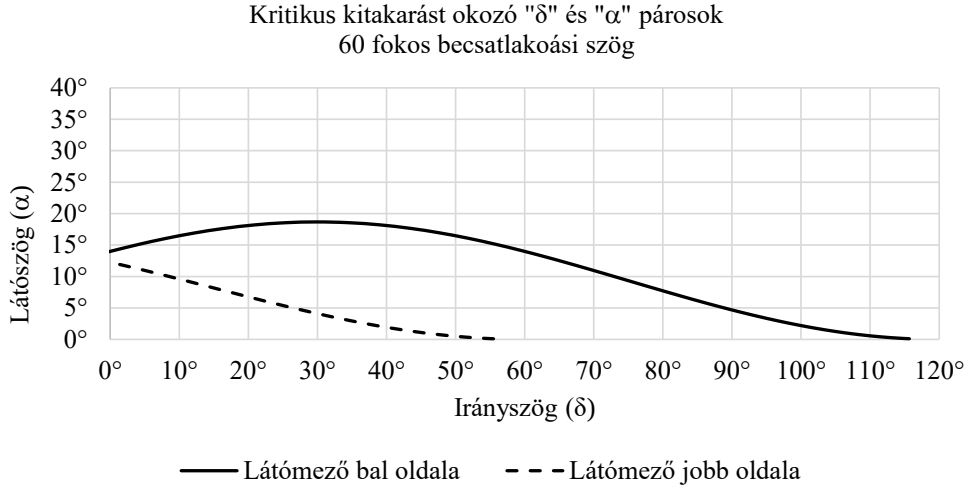
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	4
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	3,5
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	10
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	13,50
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	15,25

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	4
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	3,5
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	10
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	14,04
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	16,06

* 60° és 90° között változhat.

** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.





Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok gyalogos észleléséhez

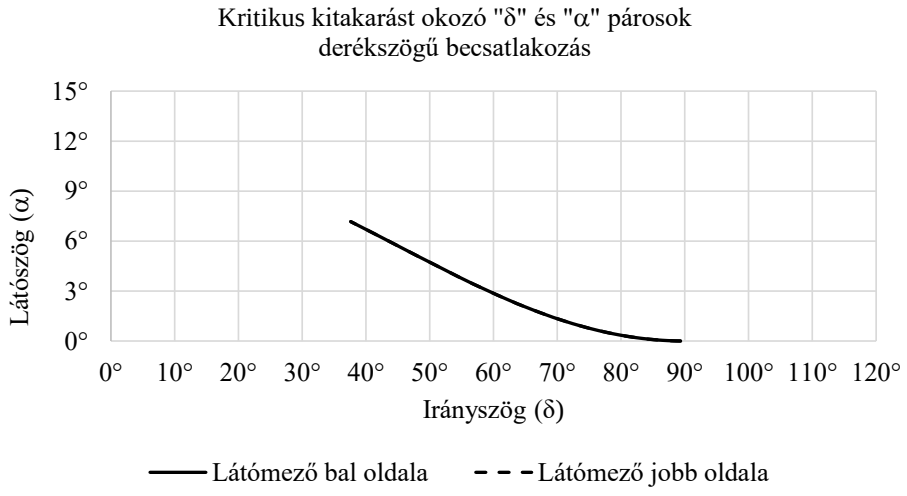
Elindulás látómező

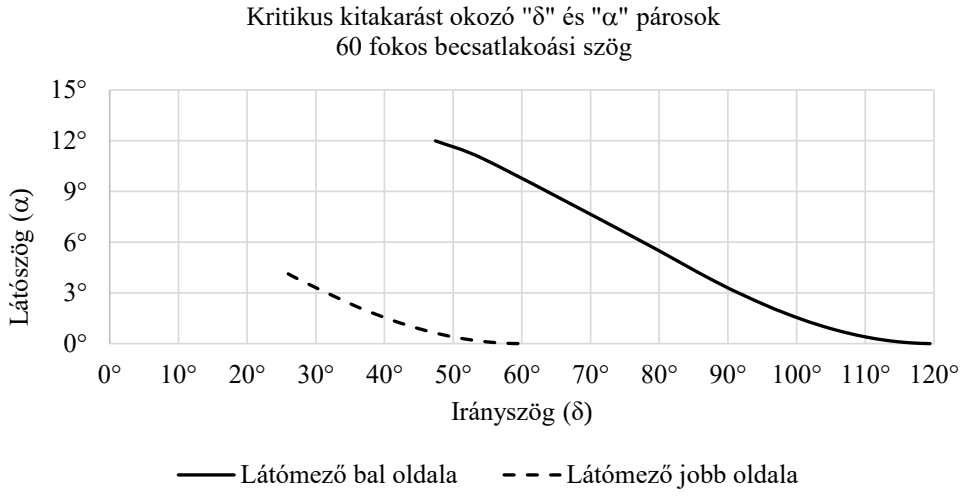
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	0,4
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	0
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	2
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	2,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	2,00

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	0,4
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	0
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	2
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	2,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	2,00

* 60° és 90° között változhat.

** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.
A gyalogos feltételezett helyzete az úttest szélétől egy méterrel bejlebb van.





A diagram görbéje feletti szögérték párosítással rendelkező akadályok 0,4 métert meghaladó kitakarást képesek okozni a látótávolság vonalában.

Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok gyalogos észleléséhez

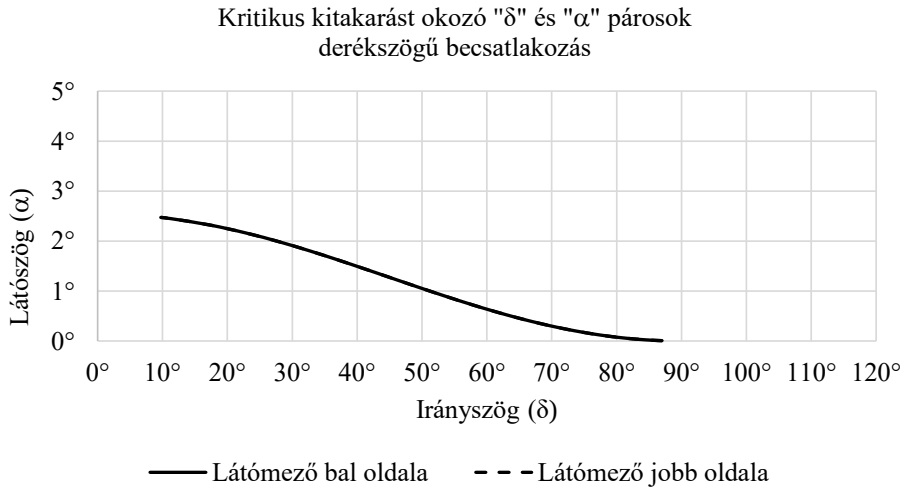
Közeledési látómező

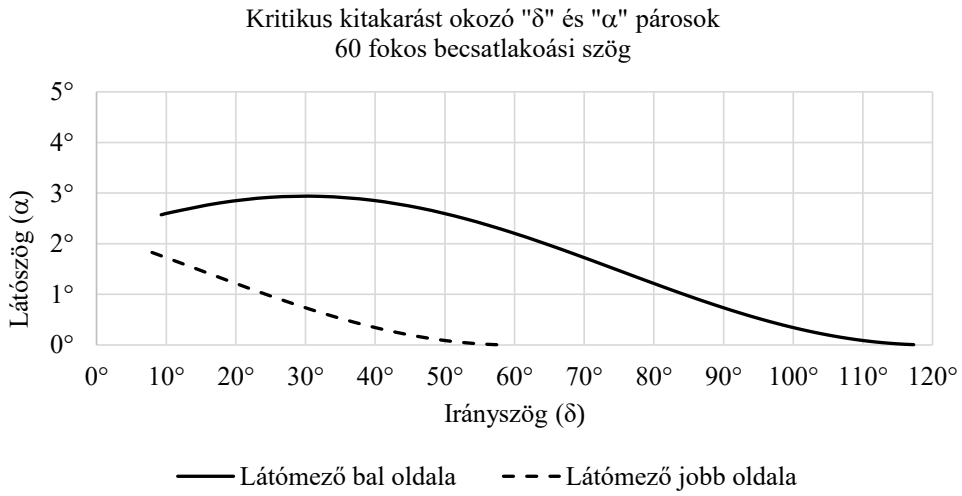
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	0,4
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	0
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	9
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	9,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	9,00

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	0,4
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	0
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	9
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	9,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	9,00

* 60° és 90° között változhat.

** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.
A gyalogos feltételezett helyzete az úttest szélétől egy méterrel bejlebb van.





A diagram görbéje feletti szögérték párosítással rendelkező akadályok 0,4 métert meghaladó kitakarást képesek okozni a látótávolság vonalában.

Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok kerékpárosok észleléséhez

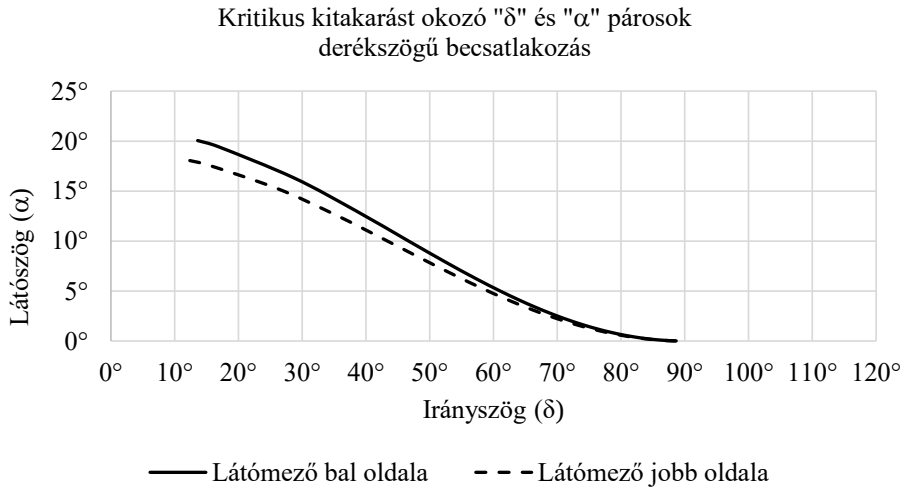
Elindulási látómező

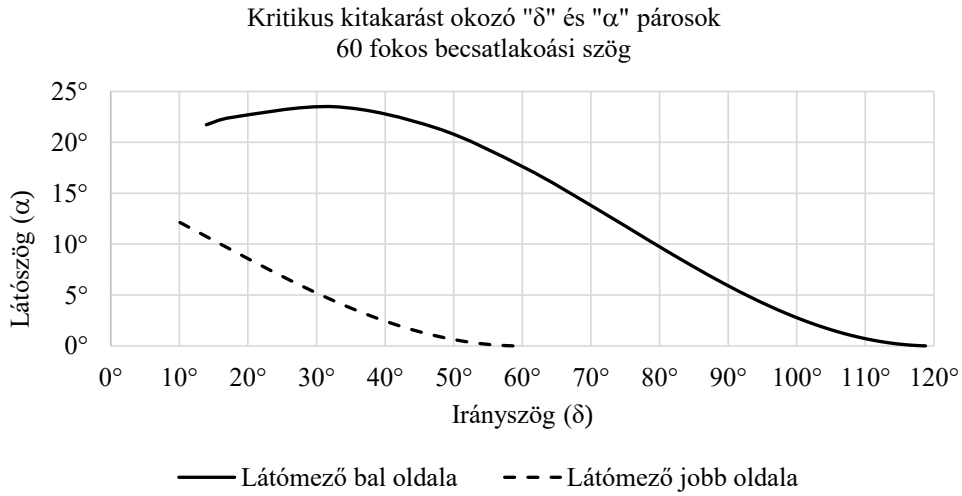
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	1,5
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	1
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	3
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	4,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	4,50

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	1,5
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	1
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	3
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	4,15
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	4,73

* 60° és 90° között változhat.

** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.
A kerékpáros feltételezetten az úttest szélén halad.





A diagram görbéje feletti szögérték párosítással rendelkező akadályok 1,5 métert meghaladó kitakarást képesek okozni a látótávolság vonalában.

Kritikus kitakarást okozó irány- és látószög párosok kerékpárosok észleléséhez

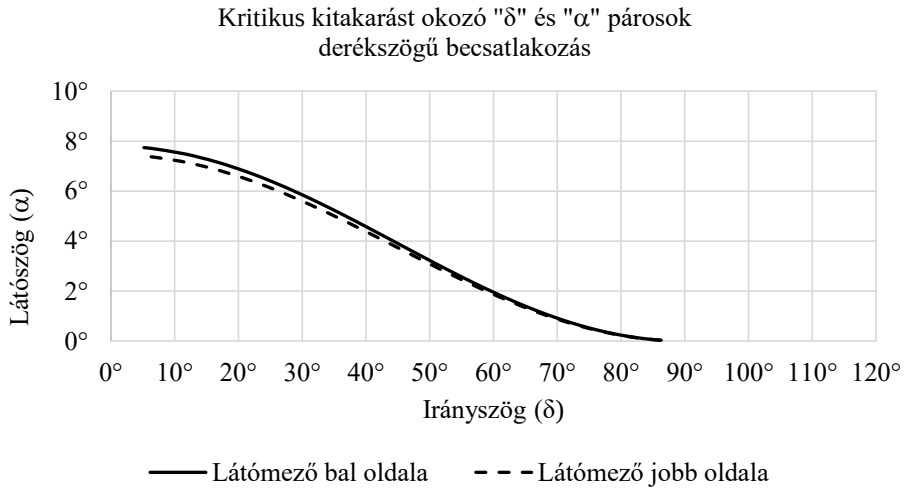
Közeledési látómező

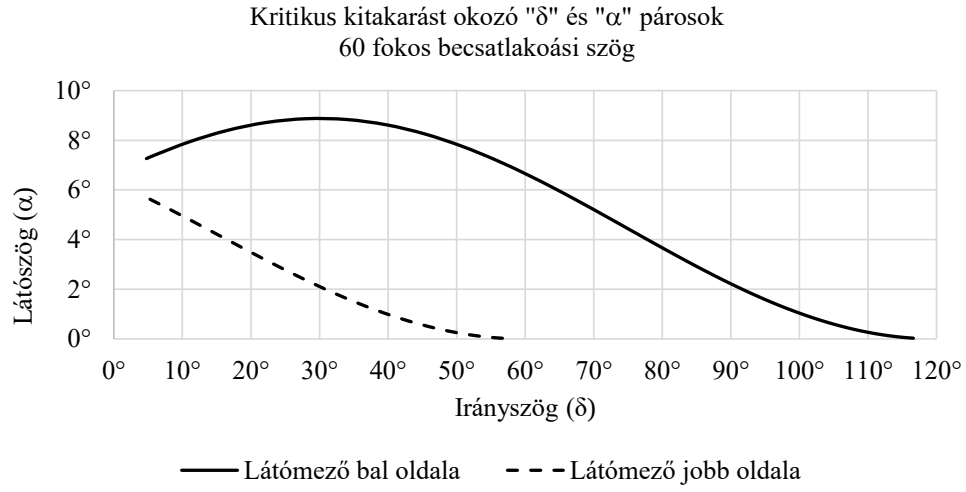
Derékszögű becsatlakozás	
Keresendő kritikus távolság [m]:	1,5
Becsatlakozási szög [°]:*	90
Forgalmi sáv szélessége [m]:	1
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	10
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	11,00
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	11,50

60°-os becsatlakozási szög	
Keresendő kritikus távolság [m]:	1,5
Becsatlakozási szög [°]:*	60
Forgalmi sáv szélessége [m]:	1
Megfigyelési pont távolsága az úttest szélétől [m]:**	10
Tengely távolság bal (S_l) [m]:	11,15
Tengely távolság jobb (S_r) [m]:	11,73

* 60° és 90° között változhat.

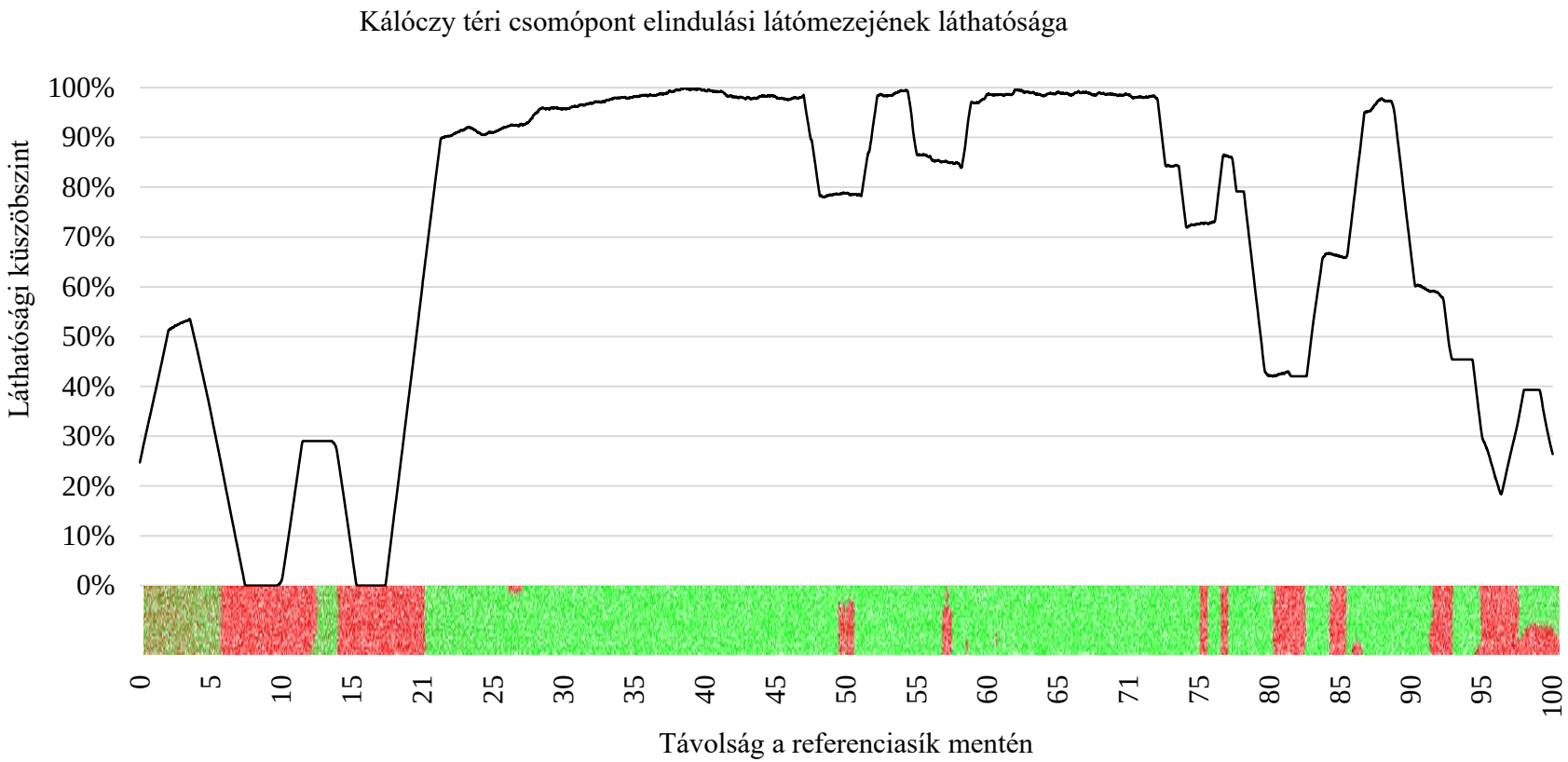
** Elindulási látómező esetében 3 méter, közeledési látómező esetében 10 méter és 20 méter, amennyiben jelentős a nehézgépjármű forgalom.
A kerékpáros feltételezetten az úttest szélén halad.



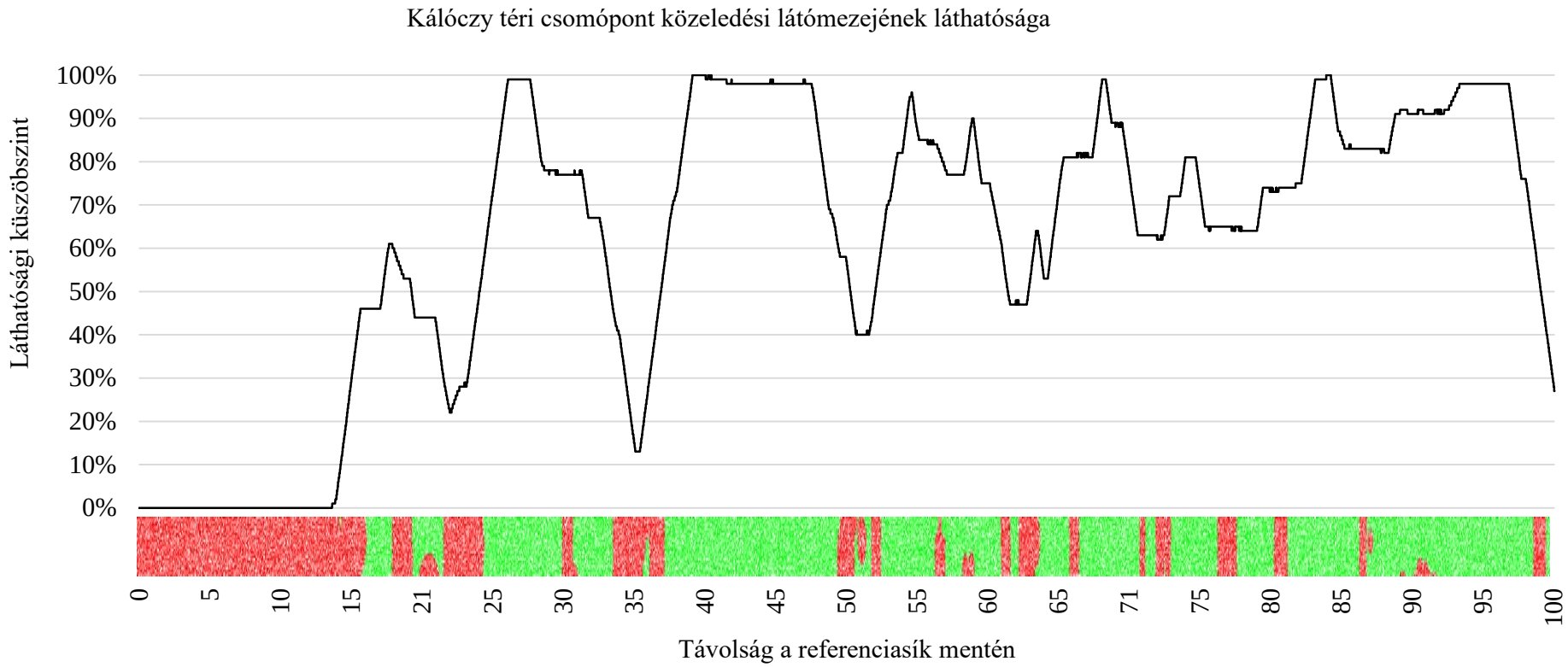


A diagram görbéje feletti szögérték párosítással rendelkező akadályok 1,5 métert meghaladó kitakarást képesek okozni a látótávolság vonalában.

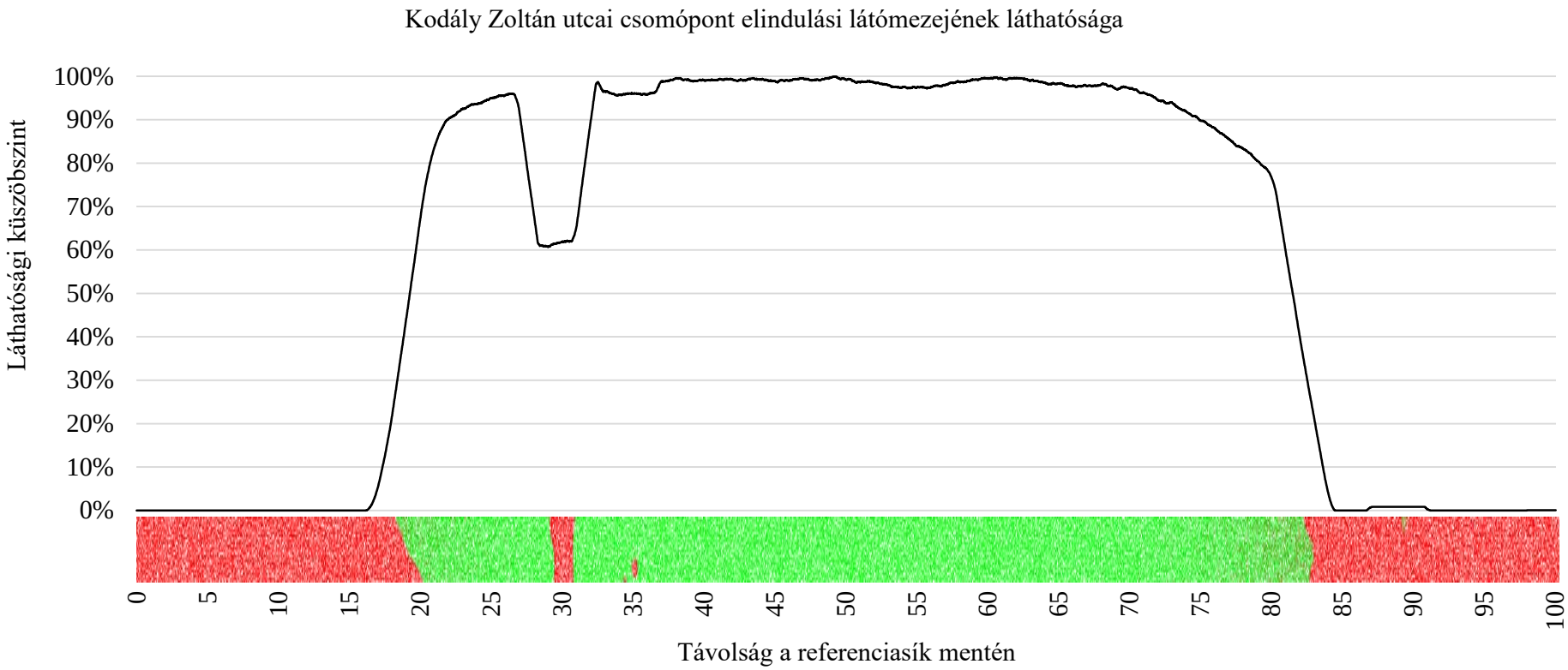
Gépjármű láthatóságának meghatározása



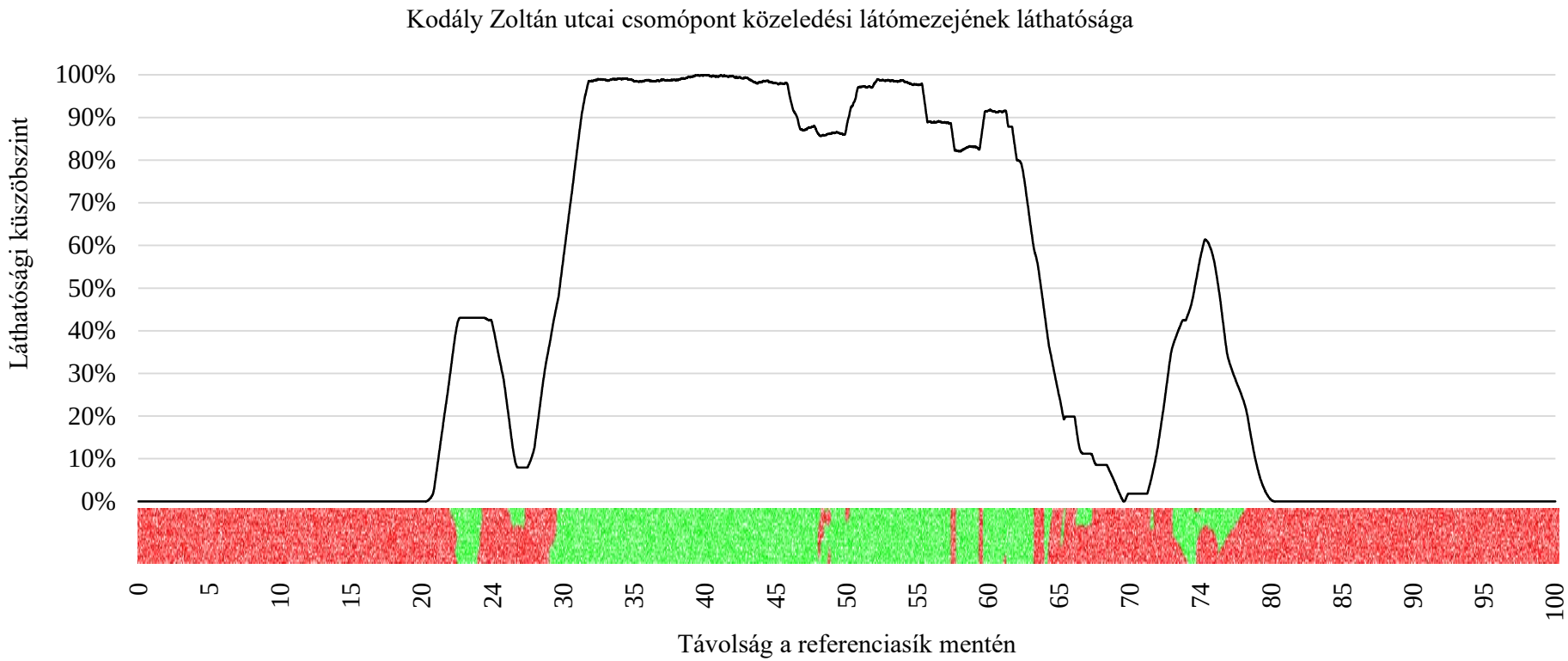
Gépjármű láthatóságának meghatározása



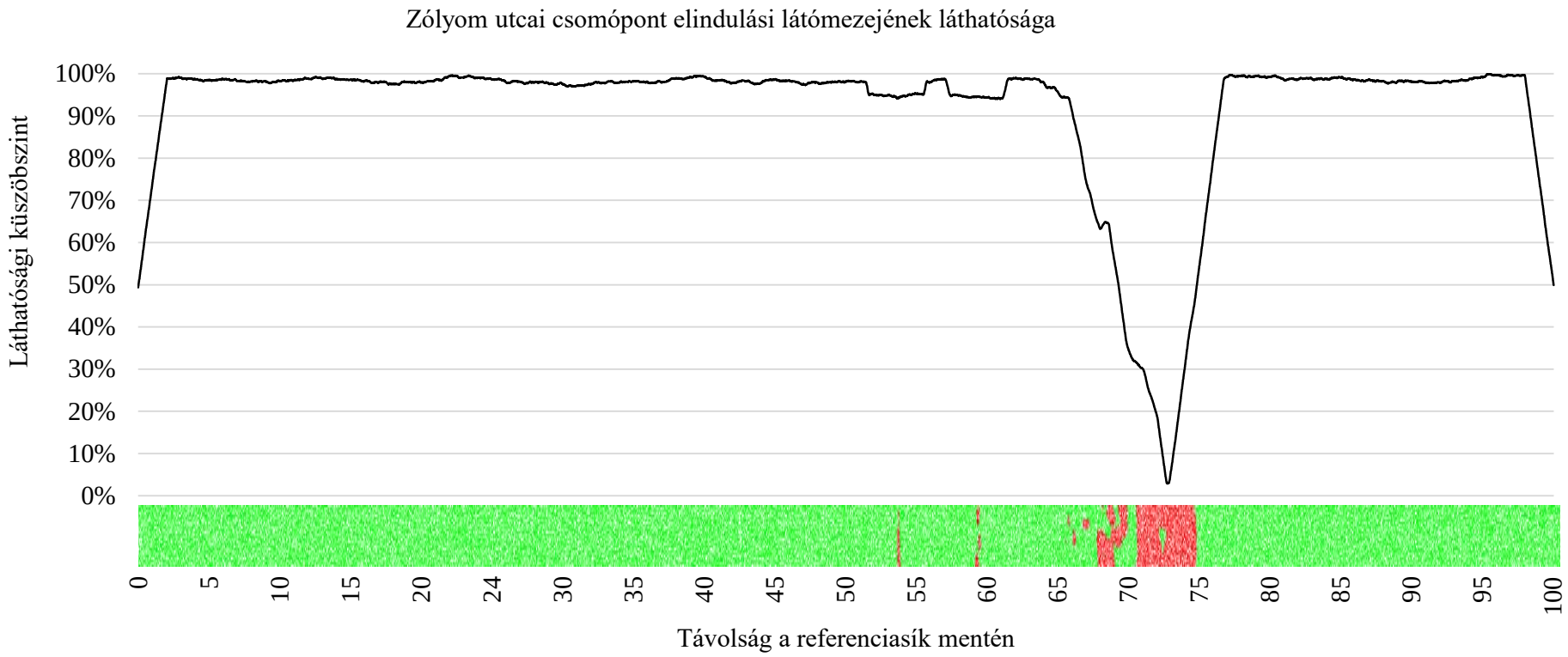
Gépjármű láthatóságának meghatározása



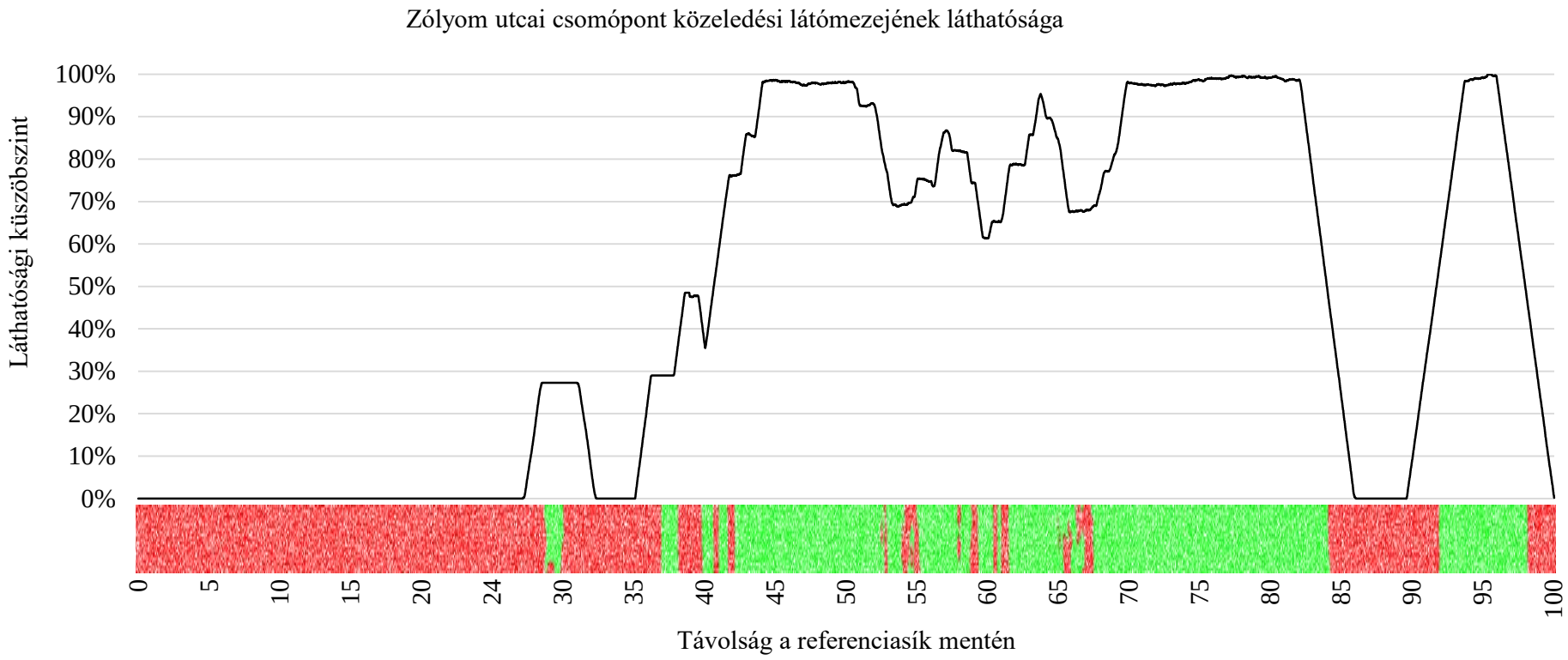
Gépjármű láthatóságának meghatározása



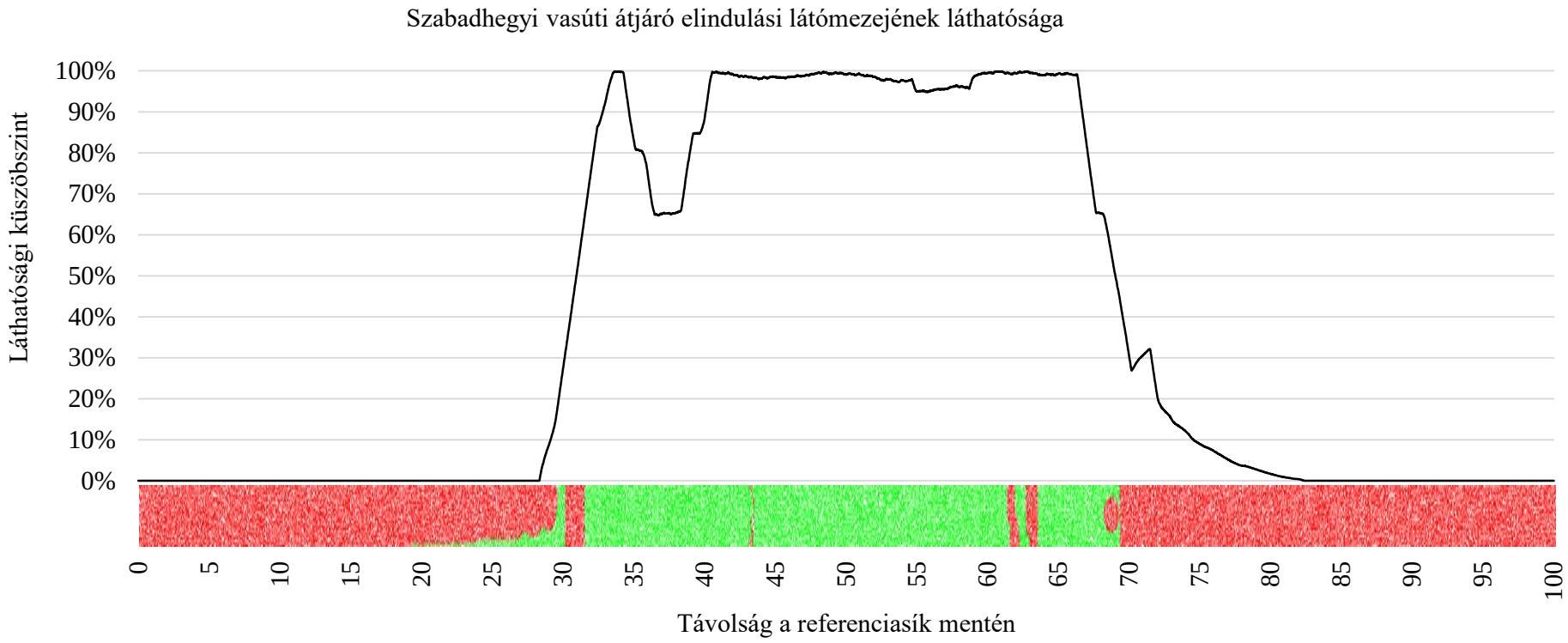
Gépjármű láthatóságának meghatározása



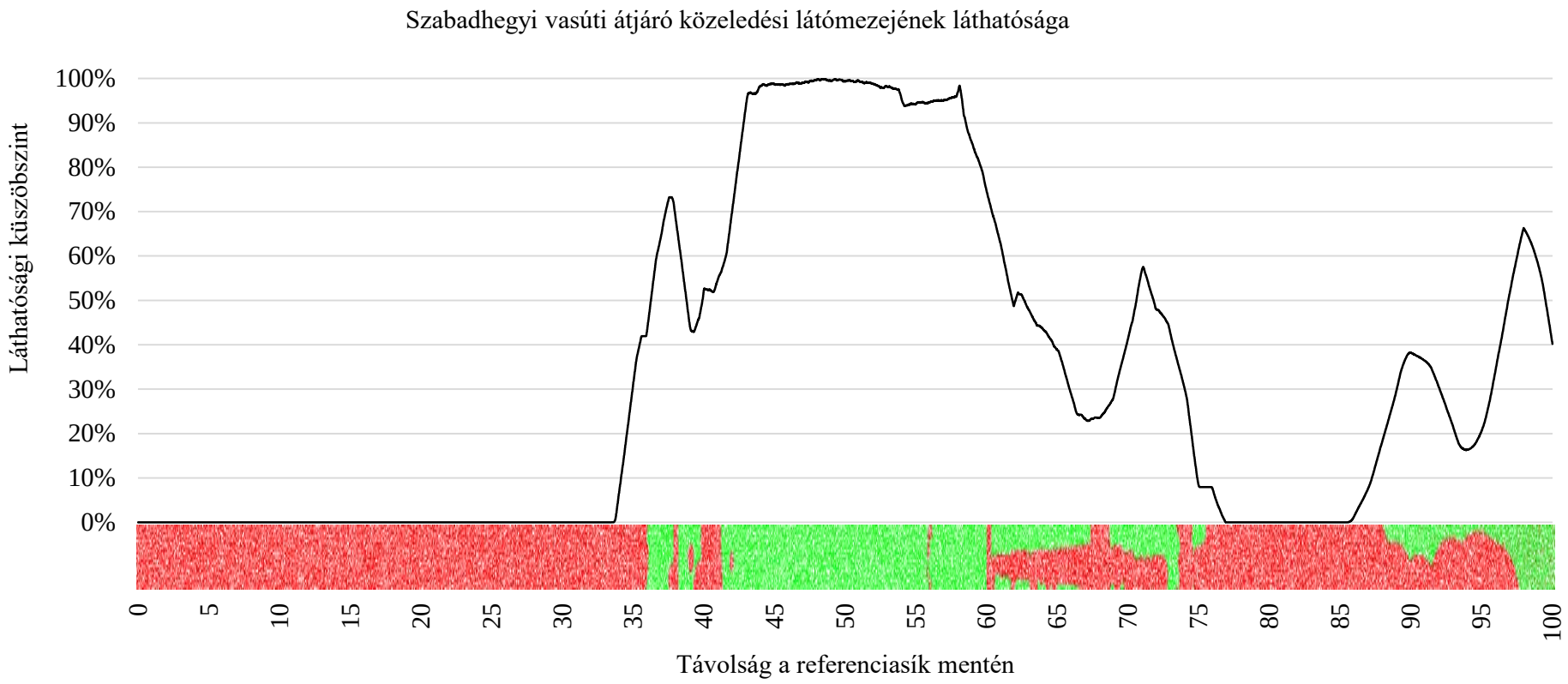
Gépjármű láthatóságának meghatározása



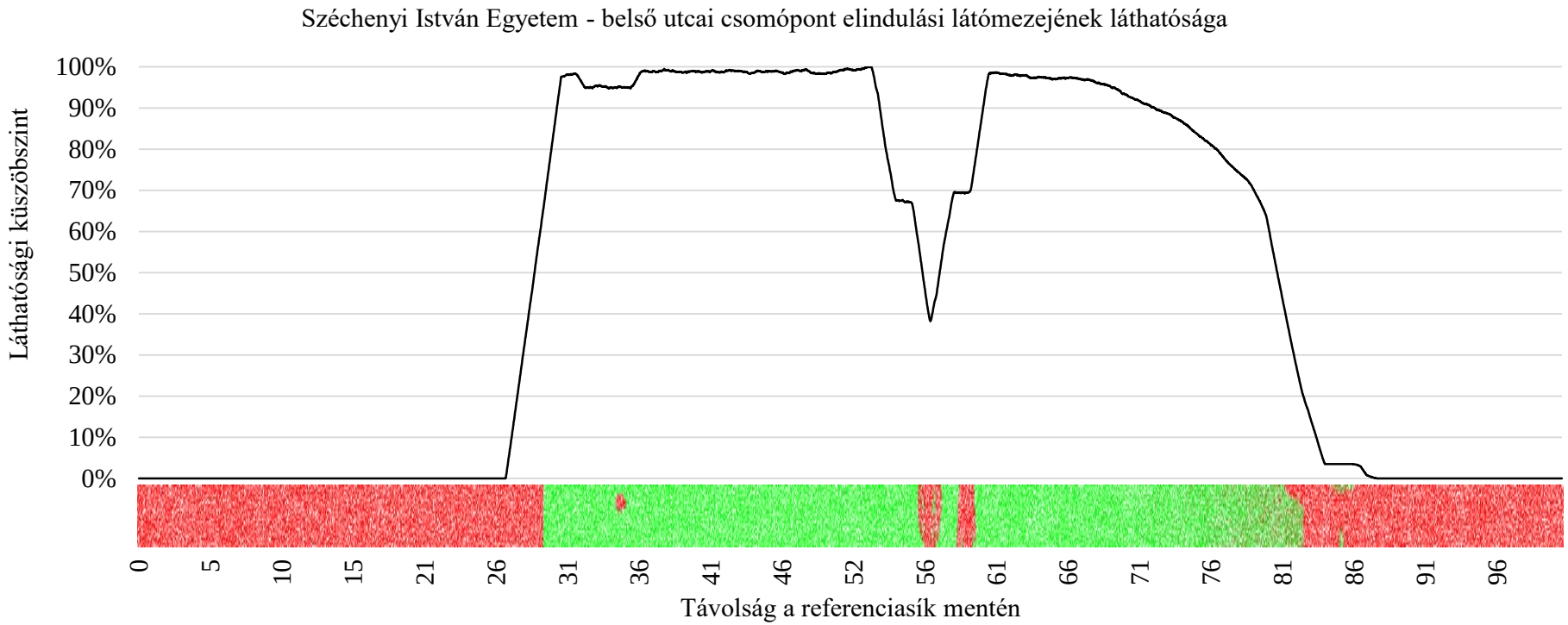
Gépjármű láthatóságának meghatározása



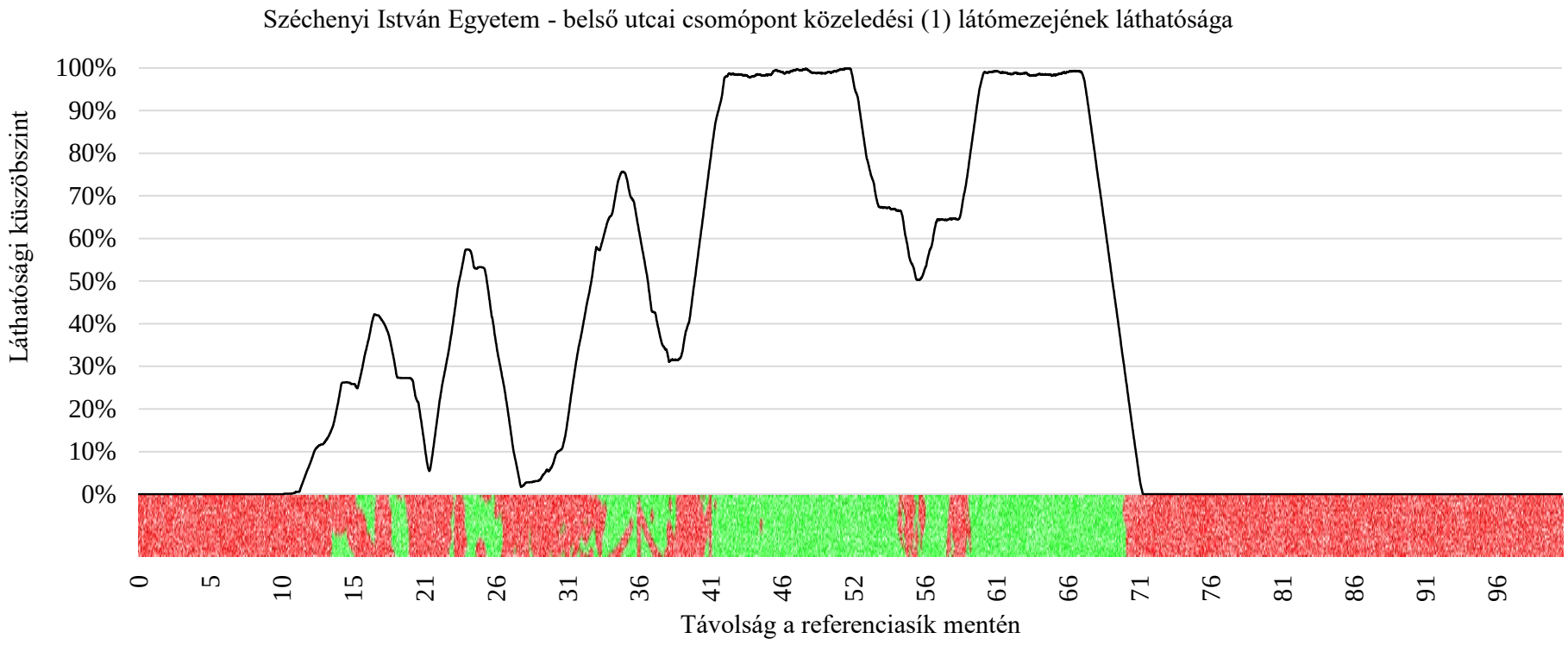
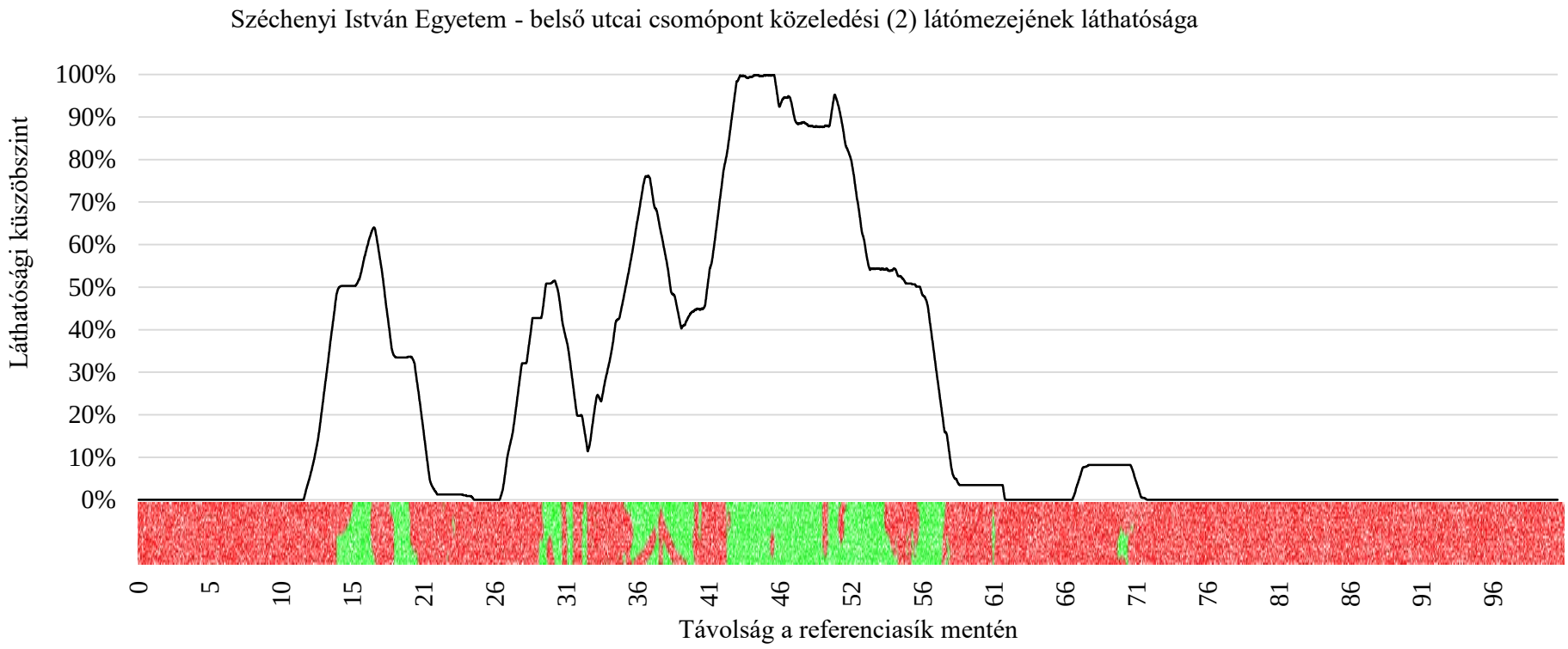
Gépjármű láthatóságának meghatározása



Gépjármű láthatóságának meghatározása



Gépjármű láthatóságának meghatározása



Gépjármű láthatóságának meghatározása