

Ívben elhelyezkedő gyalogos-átkelőhelyek biztonsági értékelése ember vezette és autonóm járművek esetén / Safety evaluation of pedestrian crossings on curves for human-driven and autonomous vehicles

Szigeti Szilárd¹ – Dr. Pauer Gábor² – Dr. Földes Dávid³

¹⁻²KTI Közlekedéstudományi és Építésügyi Minőségellenőrző Intézet

¹szigeti.szilard@kti.hu

²pauer.gabor@kti.hu

³Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

³foldes.david@kjk.bme.hu

Kivonat: A városi úthálózatban számos kijelölt gyalogos-átkelőhely ívben helyezkedik el, ahol a belső oldali akadályok – például parkoló járművek, növényzet vagy épületsorok – jelentősen ronthatják a gyalogosok észlelhetőségét. A jelenlegi tervezési gyakorlat többnyire egyenes útszakaszokra vonatkozó távolsági látótávolsági követelményekre épül, ezért az ívben található átkelőhelyek biztonsági értékelése külön vizsgálatot igényel. A tanulmány egy kinematikai alapú módszert mutat be az ilyen gyalogos-átkelőhelyek biztonságának értékelésére. A megközelítés az ívsugár, a belső oldali takarás és a megközelítési sebesség kapcsolatát veszi figyelembe, és egységes keretben kezeli a gyalogos észlelhetőségét, az átkelőhely objektív minősítését, valamint a szükséges beavatkozások meghatározását. A módszer ember vezette és autonóm járművek esetében egyaránt alkalmazható, és gyakorlati támogatást nyújthat városi úttervezési, közlekedésbiztonsági és forgalomszabályozási döntésekhez.

Abstract: Urban road networks often include designated pedestrian crossings located on horizontal curves, where inner-side obstructions—such as parked vehicles, vegetation, or buildings—can significantly reduce pedestrian visibility. Current design practices, however, primarily rely on stopping sight distance requirements developed for straight road sections, which makes the safety assessment of crossings located on curves a distinct and important issue. This paper presents a kinematics-based methodology for evaluating the safety of pedestrian crossings situated on curved road sections. The proposed approach considers the relationship between curve radius, inner-side visual obstruction, and approach speed, and integrates pedestrian visibility, objective crossing classification, and the identification of necessary interventions within a unified analytical framework. The method is applicable to both human-driven and autonomous vehicles and can provide practical support for urban road design, road safety assessment, and traffic regulation decision-making.

Kulcsszavak: gyalogos-átkelőhely biztonság; vízszintes ív; beláthatósági akadály; megállási látótávolság; sebesség határgörbék; biztonsági mutatók; autonóm járművek

Keywords: pedestrian crossing safety; horizontal curve; visual obstruction; stopping sight distance; speed boundary curves; safety indices; autonomous vehicles

Bevezetés

A városi közlekedési környezetben a gyalogos-átkelőhelyek biztonsága kiemelt jelentőségű, hiszen ezen helyszíneken a járművezetők és gyalogosok közötti interakciók gyakran fordulnak elő. A belterületi úthálózat számos olyan szakaszt tartalmaz, ahol a gyalogos-átkelőhely vízszintes ívben helyezkedik el, és a belső ívoldalon elhelyezkedő akadályok – például növényzet, parkoló járművek vagy épített elemek – jelentősen korlátozzák a gyalogos észlelhetőségét. Ilyen esetekben a járművezető látómezeje beszűkül, a gyalogos csak késve válik láthatóvá, ami közvetlenül növeli a baleseti kockázatot [1][2].

A közúti tervezés egyik alapvető követelménye, hogy a járművezető rendelkezésére álló látótávolság elegendő legyen a jármű biztonságos megállításához. Ezt a feltételt a megállási látótávolság ($L_{szüks}$) írja le, amely az észlelési–reakcióidő alatt megtett útból és a fékezési úthosszból áll. A vonatkozó tervezési

irányelvek ezt determinisztikus paraméterekkel határozzák meg [3], ugyanakkor több kutatás rámutatott arra, hogy a valós forgalmi viszonyok és a járművezetői viselkedés jelentős eltéréseket eredményezhetnek [4][5].

A vízszintes ívek beláthatóságának vizsgálata hagyományosan a látóvonal-geometria és a megállási látótávolság kapcsolatán alapul. A klasszikus megközelítések a jármű és a megfigyelt objektum azonos köríven való elhelyezkedését feltételezik, és a látási feltételeket a pályasugár és az oldalirányú kitérés segítségével írják le [3][6]. Városi környezetben azonban a gyalogos jellemzően nem a jármű pályáján helyezkedik el, továbbá a látást befolyásoló akadályok elhelyezkedése is aszimmetrikus, ami korlátozza a klasszikus modellek alkalmazhatóságát [5][7].

A városi környezet sajátosságai – különösen a sűrű beépítés és a változatos akadályelhelyezkedés – miatt a látótávolság meghatározása összetettebb feladat. Ennek következtében több kutatás is foglalkozott a rendelkezésre álló látótávolság részletesebb modellezésével. GIS- és LiDAR-alapú módszerek alkalmazásával lehetővé vált a közlekedési környezet pontosabb leképezése és a látási viszonyok megbízhatóbb becslése [7][8][9]. Ezek a vizsgálatok kimutatták, hogy a hagyományos, egyszerűsített modellek bizonyos esetekben nem írják le megfelelő pontossággal a valós helyzeteket.

A megállási látótávolság meghatározása további bizonytalanságokat hordoz, mivel a reakcióidő és a fékezési jellemzők jelentős szórást mutatnak. Természetes vezetési adatokon alapuló vizsgálatok szerint a reakcióidő függ a forgalmi helyzettől és a jármű mozgásállapotától [10], míg más kutatások a paraméterek sztochasztikus modellezésével foglalkoztak [11][12]. A bizonytalanságok kezelésére megbízhatóság-alapú és Monte Carlo alapú megközelítések is alkalmazhatók [12][13].

Az autonóm járművek megjelenése új szempontokat vet fel a látótávolság-alapú értékelésben. Az automatizált rendszerek rövidebb és stabilabb reakcióidővel működnek, ami csökkenti a szükséges megállási látótávolságot [14]. A szakirodalomban megjelent eredmények szerint ez a különbség jelentős hatással lehet a biztonsági tartalékokra, különösen korlátozott látási viszonyok esetén [14][15].

A szakirodalom áttekintése alapján megállapítható, hogy a látótávolság és a megállási követelmények vizsgálata széles körben kutatott terület, azonban az ívben elhelyezkedő gyalogos-átkelőhelyek aszimmetrikus geometriai helyzete csak korlátozott mértékben jelenik meg a meglévő modellekben. Jelen tanulmány célja egy olyan, gyakorlatban is alkalmazható módszer bemutatása, amely a rendelkezésre álló és a szükséges látótávolság összevetésén alapul, és támogatja a beavatkozási döntések megalapozását.

A tanulmány felépítése a következő: az 1. fejezetben bemutatjuk az alkalmazott geometriai modellt és a látótávolság meghatározásának módszertanát, valamint az értékelési és döntéstámogatási megközelítést. A 2. fejezetben a módszer alkalmazását szemléltetjük kiválasztott esettanulmányokon keresztül. A cikk végén összefoglaljuk a főbb megállapításokat és a módszer alkalmazhatóságának korlátait.

1. Módszertan

1.1 A vizsgált probléma és geometriai értelmezése

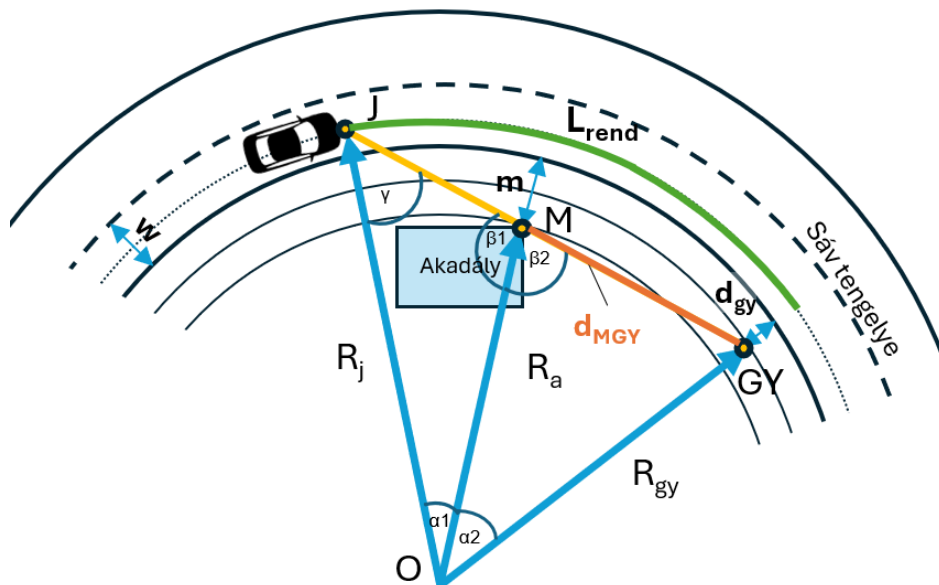
A vizsgálat célja olyan egyszerűen alkalmazható, ugyanakkor geometriailag megalapozott értékelési eljárás kialakítása, amely alkalmas vízszintes ívben elhelyezkedő gyalogos-átkelőhelyek biztonsági viszonyainak számszerű értékelésére. A módszer alapfeltevése, hogy a biztonságos működés feltétele a gyalogos időbeni észlelése, vagyis annak biztosítása, hogy a járművezető a gyalogost legalább a megálláshoz szükséges távolságon belül észlelhessen. A városi úthálózat számos olyan elemet tartalmaz, ahol ez a feltétel nem teljesül egyértelműen. Különösen problémásak a kis sugarú vízszintes ívek, ahol a belső ívoldalon elhelyezkedő akadályok – például növényzet, parkoló járművek, kerítések vagy egyéb épített elemek – jelentősen korlátozhatják a járművezető látómezejét. Ilyen esetekben a gyalogos csak késve válik észlelhetővé, ami növeli a konfliktusok és balesetek kockázatát.

Az 1. ábra egy tipikus példát mutat arra az esetre, amikor a belső ívoldalon található növényzet a gyalogos észlelhetőségét jelentősen rontja. Az ehhez hasonló helyszínek értékelése a hagyományos tervezési elvek alapján sok esetben nehézkes, mivel a valós geometriai viszonyok és a tényleges látási feltételek között jelentős eltérés lehet.



1. ábra: A beláthatóságot korlátozó növényzetet szemléltető példa (Budapest, Fodor utca 34)

A modell kidolgozása során megállapítottuk, hogy a valós forgalmi helyzet sajátosságai miatt a jármű, a látást korlátozó akadály sarka és a várakozó gyalogos fizikailag eltérő íveken helyezkednek el. Ezen aszimmetria miatt a szakirodalomban elterjedt klasszikus, érintő alapú (tangenciális) látótávolsági modellek – amelyek azonos sugarú pályát feltételeznek – csak korlátozottan voltak alkalmazhatók. A beláthatóság meghatározása ezért egy célzottan erre a szituációra kidolgozott aszimmetrikus geometriai megközelítéssel történt. Az alkalmazott geometriai modellt a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A vizsgált aszimmetrikus geometriai modell felépítése

A modellben szereplő eltérő sugarú körívek közötti kapcsolatot a forgalmi sáv szélesség (w) és a gyalogos úttesttől mért várakozási pozíciója (d_{gy}) határozta meg. Feltételezve, hogy a jármű a forgalmi sáv tengelyében halad, az R_j paraméter a jármű haladási pályájának ívsugarát jelöli. Az ívsugar a beláthatóság egyik meghatározó geometriai tényezője, mivel a belső ívoldali akadályok kitakaró hatása kisebb ívsugar esetén erősebben érvényesül. A körívsugarakat az alábbi összefüggések segítségével határoztuk meg:

$$R_a = R_j - \frac{w}{2} - m \quad (1)$$

$$R_{gy} = R_j - \frac{w}{2} - d_{gy} \quad (2)$$

A belső ívoldalon elhelyezkedő akadály pozícióját az m paraméterrel definiáltuk, amely a jármű haladási pályájától (a sáv tengelyvonalától) mért merőleges oldaltávolságot (akadálytávolságot) jelölte. A számítási modellbe beépítettük továbbá a jármű és a gyalogos közötti közvetlen geometriai kapcsolatot leíró d_{MGY} távolságot is. Ez a paraméter a két pont közötti látósugár húrhosszaként szolgált, és alapvető szerepet játszott a látási viszonyok pontos meghatározásában.

A fenti geometriai elrendezés alapján meghatározható az a pályahossz, amelyen belül a gyalogos a járművezető számára még látható. Ezt a továbbiakban rendelkezésre álló látótávolságnak jelöltük (L_{rend}). A paraméter tehát a jármű pályáján mért ívhossz, amely az akadály által még nem kitakart tartományt jelenti, és közvetlenül függ a pályageometriától, az akadály helyzetétől (m), valamint a gyalogos elhelyezkedésétől (d_{gy}). A továbbiakban ez az érték szolgál alapul a biztonsági értékeléshez.

1.2 Megállási látótávolság meghatározása

A rendelkezésre álló látótávolság (L_{rend}) értékeléséhez szükséges annak összevetése a szükséges megállási látótávolsággal ($L_{szüks}$), amely azt a minimális távolságot jelenti, amely a jármű biztonságos megállításához szükséges a gyalogos észlelését követően. Az $L_{szüks}$ az észlelési–reakcióidő alatt megtett útból, valamint a fékútból tevődik össze, és az alábbi összefüggéssel számítható:

$$L_{szüks} = v * t_r + \frac{v^2}{2a} \quad (3)$$

ahol v a jármű sebessége, t_r a reakcióidő, a pedig a jármű lassulása.

A vizsgálat szempontjából az $L_{szüks}$ kiemelt jelentőségű, mivel ez határozza meg azt a minimális látótávolságot, amelynek rendelkezésre kell állnia a biztonságos megálláshoz. Az 1.1 fejezetben bemutatott geometriai modell alapján számított rendelkezésre álló látótávolság (L_{rend}) csak ebben az összefüggésben értelmezhető.

A biztonság szempontjából az a feltétel tekinthető kielégítőnek, ha a rendelkezésre álló látótávolság eléri vagy meghaladja a szükséges értéket:

$$L_{rend} \geq L_{szüks} \quad (4)$$

Amennyiben ez nem teljesül, a járművezető a gyalogost csak késve észleli, és a megálláshoz szükséges távolság nem áll rendelkezésre. Ez a helyzet különösen kedvezőtlen kis sugarú ívekben, ahol az akadályok a látómező jelentős részét kitakarhatják.

A fenti feltétel teljesülése, illetve annak mértéke a továbbiakban bevezetett értékelési mutatók alapját képezi. A számítás során alkalmazott paraméterek a példaszámításokban rögzített értékek, a módszer működését és a geometriai viszonyok hatását a következő fejezet szemlélteti.

1.3 Értékelési mutatók bevezetése

A rendelkezésre álló és a szükséges látótávolság összehasonlítása alapján a beláthatósági viszonyok közvetlenül értékelhetők. A gyakorlati alkalmazás során ugyanakkor célszerű ezt az értékelést egyszerű, jól értelmezhető mutatókkal kiegészíteni, amelyek a különböző helyszínek összehasonlítását és a beavatkozási döntések támogatását is megkönnyítik. Ennek érdekében olyan egyszerűen értelmezhető mutatókat vezettünk be, amelyek lehetővé teszik a különböző helyszínek egységes értékelését.

A kiindulási alap a rendelkezésre álló és a szükséges látótávolság összehasonlítása. Ennek legegyszerűbb formája a látótávolsági megfelelési mutató (LMM) bevezetése:

$$LMM = \frac{L_{rend}}{L_{szüks}} \quad (5)$$

A mutató értelmezése:

- $LMM < 1$: a rendelkezésre álló látótávolság nem elegendő
- $LMM \approx 1$: határállapot
- $LMM > 1$: a látási viszonyok megfelelőek.

Az LMM előnye, hogy dimenziótlan formában fejezi ki a megfelelést, így különböző geometriai és sebességi viszonyok között is jól összehasonlítható. Ugyanakkor önmagában nem ad választ arra, hogy nem megfelelő állapot esetén milyen jellegű beavatkozás szükséges.

Ennek kiegészítésére vezettük be a sebesség-adaptációs mutatót (SAM), amely azt fejezi ki, hogy a vizsgált helyszínen a kiindulási sebességhez képest mekkora maximális sebesség engedhető meg. A mutató definíciója:

$$SAM = \frac{v_{max}}{v_0} \quad (6)$$

ahol v_0 a megengedett sebességhatár, míg v_{max} az a legnagyobb sebesség, amely mellett a gyalogos-átkelőhely még biztonságosan megközelíthető az adott beláthatósági feltételek mellett.

A SAM gyakorlati értelmezése egyértelmű: ha például értéke 0,8, akkor a jelenlegi sebességet mintegy 20%-kal kell csökkenteni a biztonságos megközelítéshez. A mutató így közvetlenül alkalmazható forgalomtechnikai beavatkozások vizsgálatára.

A harmadik mutató a beavatkozási igény mutató (BIM), amely a fizikai környezet módosításának szükségességét jellemzi. A mutató a szükséges és a meglévő akadálytávolság különbségeként adható meg:

$$BIM = m_{jelenlegi} - m_{szükséges} \quad (7)$$

A BIM értéke közvetlenül értelmezhető: megadja, hogy az akadályt milyen mértékben szükséges visszahúzni az úttest szélétől ahhoz, hogy a látótávolság elegendő legyen. Pozitív érték esetén megfelelő a meglévő állapot, míg negatív érték esetén a beavatkozás szükséges. A szükséges akadálytávolság meghatározásának módszerét az 1.4 fejezet ismerteti.

A három mutató együttes alkalmazása lehetővé teszi, hogy a vizsgált helyszínt ne csak minősítsük, hanem a szükséges beavatkozás jellegét is meghatározzuk. Az LMM a megfelelőséget, a SAM a szükséges sebességváltoztatást, míg a BIM a fizikai beavatkozás mértékét írja le.

1.4 Döntéstámogatási megközelítés

A bemutatott módszer célja nem csupán a beláthatósági viszonyok értékelése, hanem a szükséges beavatkozások meghatározásának támogatása is. A rendelkezésre álló és szükséges látótávolság összevetése alapján eldönthető, hogy egy adott helyszín megfelel-e a biztonsági követelményeknek, ugyanakkor nem megfelelő állapot esetén többféle beavatkozási lehetőség is adódhat.

A vizsgálat során két alapvető beavatkozási irányt különböztettünk meg: a sebesség csökkentését, illetve a belső ívdali akadály eltávolítását vagy visszahúzását. Elméletileg a beláthatósági viszonyok az ívsugar növelésével is javíthatók lennének, azonban ennek gyakorlati megvalósíthatósága városi környezetben általában korlátozott, mivel jelentős pályageometriai átalakítást, területigényt és gyakran közműkiváltást igényel.

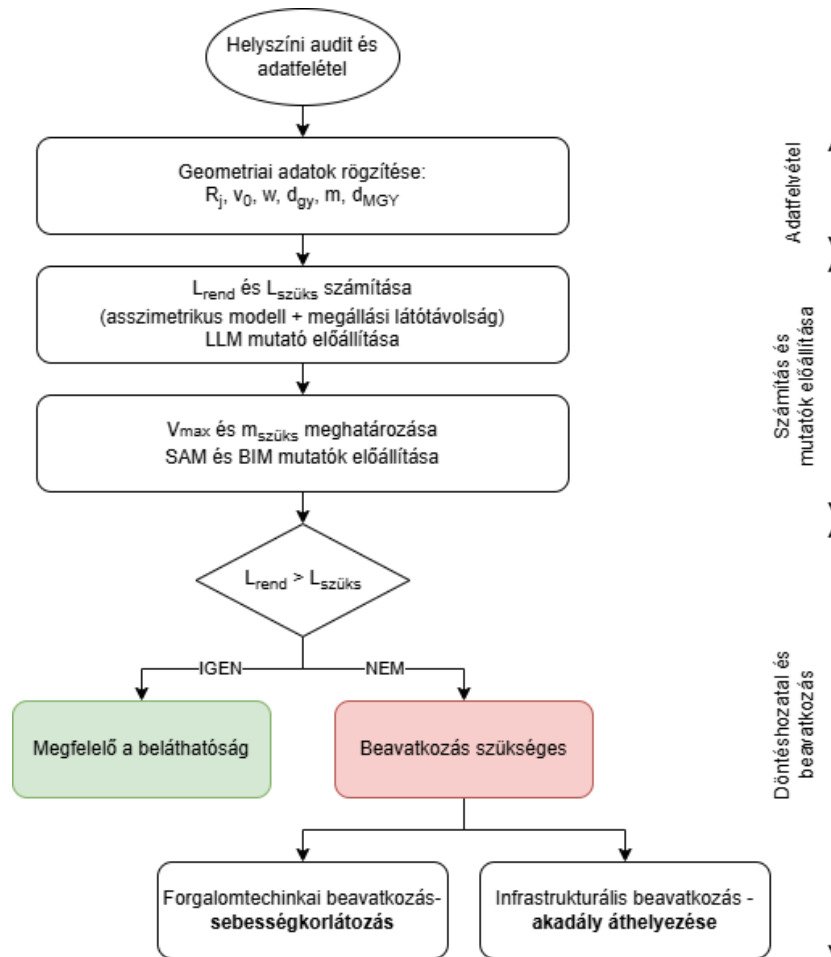
A sebességcsökkentés esetén a SAM mutató alapján meghatározható az a maximális sebesség (v_{max}), amely mellett a szükséges látótávolság nem haladja meg a rendelkezésre álló értéket. A fizikai beavatkozás esetén a BIM mutató adja meg a szükséges akadálytávolság-növelést, azaz $m_{szükséges}$ értéket. A szükséges akadálytávolság meghatározásánál a vízszintes ívek beláthatóságának szakirodalmában alkalmazott összefüggések szolgáltattak kiindulási alapként. A klasszikus megközelítés a vízszintes látóvonal-eltolásra (horizontal sight line offset, HSO) épül, amely a pályájának ívsugara (R_j) és a szükséges látótávolság kapcsolatát írja le azonos köríven elhelyezkedő jármű és megfigyelt objektum esetén [22].

A jelen jelölésrendszerben ez az összefüggés az alábbi alakban írható fel:

$$HSO = R_j \left(1 - \cos \left(28,65 * \frac{L_{szükses}}{R_j} \right) \right) \quad (8)$$

Fontos kiemelni, hogy a fenti összefüggés azon az alapfeltevésen nyugszik, hogy a jármű és a megfigyelt objektum azonos köríven helyezkedik el. A jelen vizsgálatban azonban a gyalogos a jármű pályájától eltérő helyzetben található, ezért a klasszikus HSO nem tekinthető közvetlenül a szükséges akadálytávolságnak. Ennek megfelelően a HSO-t a számítás során kiindulási közelítésként értelmeztük, és a szükséges m értéket a geometriai modellhez illeszkedő, iteratív eljárással határoztuk meg.

A beavatkozási igény számszerűsítése után a döntéshozó számára egyértelmű mérlegelési pontok adódnak. A folyamat rendszerszemléletű megközelítését, az adatfelvételtől a végleges forgalomtechnikai vagy infrastrukturális döntésig, a 3. ábra foglalja össze.



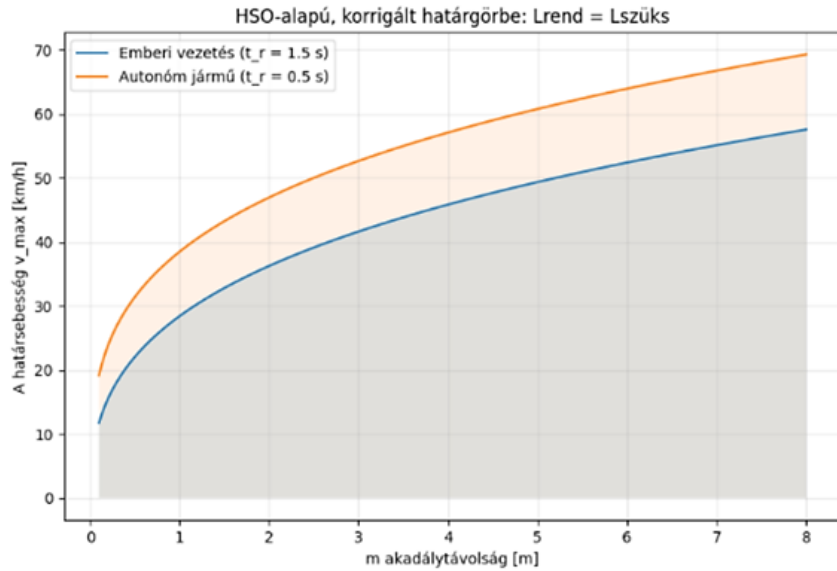
3. ábra: Helyszíni felmérés és döntési mechanizmus

1.5 Ember által vezetett és autonóm járművek összehasonlítása

A módszer lehetőséget ad annak vizsgálatára, hogy a különböző járművezetési módok miként befolyásolják a szükséges látótávolságot, és ezen keresztül a beláthatósági megfelelőséget. A geometriai viszonyok változatlanok, a különbség a megállási látótávolság meghatározásában jelenik meg, elsősorban a reakcióidő eltérése miatt.

A számítások során az ember által vezetett járművekre 1,5 s, míg autonóm járművekre 0,5 s reakcióidőt vettünk figyelembe. A lassulás értékét mindkét esetben egységesen $-4,0 \text{ m/s}^2$ értékkel alkalmaztuk, amely a gyakorlatban még elfogadható komfortszintet biztosít, ugyanakkor biztonságos fékezést tesz lehetővé. A rövidebb reakcióidő következtében az autonóm járművekhez tartozó szükséges látótávolság minden vizsgált esetben kisebb, mint emberi vezetésnél. Ez azt eredményezi, hogy azonos geometriai adottságok mellett autonóm járművek esetén nagyobb sebesség engedhető meg, vagy ugyanazon sebesség mellett kisebb beavatkozás is elegendő lehet.

A jelenség szemléltetésére a $L_{rend} = L_{szüks}$ feltételhez tartozó határgörbék is ábrázolhatók (4. ábra), amelyek bemutatják a megengedhető sebesség és az akadálytávolság kapcsolatát. A görbék alapján jól látható, hogy az autonóm járművekhez tartozó görbe minden esetben az emberi vezetéshez tartozó görbe fölött helyezkedik el, ami a rövidebb reakcióidő közvetlen következménye.



4. ábra: A megengedhető sebesség és az akadálytávolság közötti kapcsolat eltérő reakcióidők mellett

2. A modell gyakorlati alkalmazása

2.1 Vizsgált helyszínek és felmért adatok

A vizsgálat célja annak bemutatása volt, hogy a kidolgozott modell valós közlekedési környezetben is alkalmazható és képes a látótávolsági viszonyok számszerű értékelésére. A módszer alkalmazását két budapesti helyszínen vizsgáltuk, eltérő geometriai és környezeti adottságok mellett. A vizsgált helyszínek a II. kerületben található Bimbó út 68, valamint a XXI. kerületben található Szent István út 187/A voltak. A kiválasztott helyszínek gyalogos-átkelőhelyének beláthatóságát a 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: A vizsgált helyszínek (balra: Bimbó út 68, jobbra: Szent István út 187/A)

A kiválasztott helyszínek mindkét esetben ívben elhelyezkedő útszakaszokon találhatók, ahol a látási viszonyokat az útpálya melletti akadályok – például növényzet, parkoló járművek vagy épített elemek – befolyásolják. A geometriai és forgalmi paraméterek meghatározása helyszíni bejárás, Google Maps alapú távolságmérések, valamint QGIS szoftverben végzett geometriai elemzés segítségével történt. A felmérés során a látótávolság meghatározásához szükséges alapparaméterek kerültek rögzítésre.

A felmért adatok a látótávolság meghatározásához szükséges bemeneti paramétereket tartalmazzák, amelyeket az 1. táblázat foglal össze.

1. táblázat: Felmért bemeneti adatok

Paraméter	Jelölés	Bimbó út 68	Szent István út 187/A
Ívsugár [m]	R_i	25	100
Sávszélesség [m]	w	4	4
Akadály távolság [m]	m	0.5	1

Gyalogos helyzete [m]	d_{gy}	1	1
Gyalogos-akadály távolság [m]	d_{MGY}	9,5	8
Megengedett sebesség [km/h]	v_{max}	30	50

A felmért adatok alapján a látótávolság meghatározása az ismertetett aszimmetrikus modell segítségével történt. A számítások egy automatizált, Excel-alapú eszközben kerültek elvégzésre, amely a bemeneti paraméterek függvényében határozza meg a rendelkezésre álló és a szükséges látótávolságot, valamint az ezekből származtatott értékelési mutatókat.

2.2 Számított eredmények és értékelés

A számítások eredményeit a 2. táblázat szemlélteti, amely az automatikusan meghatározott látótávolsági értékeket, az ezekből képzett mutatókat (LMM, SAM, BIM), valamint a beavatkozási javaslatokat tartalmazza. A színezéssel kiemelt cellák a biztonsági megfelelés gyors áttekintését segítik, külön jelölve a kritikus és megfelelő állapotokat.

2. táblázat: Számított eredmények és javasolt beavatkozások

Helyszín	Beláthatósági értékelés						Beavatkozási javaslatok	
	$L_{szüks}$ [m]	L_{rend} [m]	LMM mutató	SAM mutató	BIM mutató	Helyszín minősítése	Ajánlott sebesség [km/h]	Ajánlott akadály- távolság [m]
Bimbó út 68	21.18	17.06	0.81	0.86	-2.15	Nem megfelelő	25.68	2.65
Szent István út 187/A	44.95	29.02	0.65	0.75	-2.02	Nem megfelelő	37.35	3.02

Az eredmények alapján mindkét vizsgált helyszínen a rendelkezésre álló látótávolság elmarad a szükséges megállási látótávolságtól, ami a helyszínek „nem megfelelő” minősítéséhez vezet. A Bimbó út esetében a rendelkezésre álló látótávolság 17,06 m, míg a szükséges érték 21,18 m. A Szent István úti helyszínen a különbség ennél jelentősebb, ahol a 29,02 m rendelkezésre álló látótávolság nem éri el a 44,95 m szükséges értéket, ami közel 16 m eltérést eredményez.

A számított mutatók (LMM, SAM, BIM) mindkét esetben alátámasztják, hogy a meglévő állapot nem felel meg a látótávolsági követelményeknek, és beavatkozás indokolt. A modell által meghatározott javaslatok alapján mindkét helyszínen a megközelítési sebesség csökkentése (25,68 km/h, illetve 37,35 km/h értékre), illetve az akadály távolságának növelése egyaránt hozzájárulhat a biztonsági feltételek javításához, ugyanakkor a szükséges beavatkozás mértéke a két helyszín között eltérő.

Konklúzió

A tanulmány célja az ívben elhelyezkedő gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági viszonyainak értékelésére alkalmas módszertan kidolgozása volt. A bemutatott megközelítés egy aszimmetrikus geometriai modellre épül, amely lehetővé teszi a jármű, a gyalogos és a látást korlátozó akadály eltérő helyzetének együttes figyelembevételét. A módszer a rendelkezésre álló és a szükséges látótávolság összevetésén alapul, és egyszerűen értelmezhető mutatók segítségével támogatja a biztonsági megfelelés értékelését.

A kidolgozott eljárás gyakorlati alkalmazhatóságát két budapesti helyszínen végzett esettanulmány igazolta. Az eredmények rámutattak, hogy a vizsgált szakaszokon a jelenlegi geometriai és forgalmi feltételek mellett a látótávolság nem minden esetben biztosítja a biztonságos megállás feltételeit. A számítások alapján mindkét helyszínen meghatározhatók voltak azok a beavatkozások – elsősorban a megközelítési sebesség csökkentése, illetve az akadályok áthelyezése –, amelyekkel a biztonsági feltételek javíthatók.

A módszer egyik fő előnye, hogy a szükséges számítások egy egyszerű, automatizált eszközben elvégezhetők, amely a felmért bemeneti adatok alapján közvetlenül szolgáltatja az értékelési mutatókat és a beavatkozási javaslatokat. Ennek köszönhetően a megközelítés nemcsak elemzési célokra, hanem döntéstámogatási eszközként is alkalmazható, különösen a forgalombiztonsági felülvizsgálatok során.

A bemutatott eljárás ugyanakkor bizonyos egyszerűsítéseket tartalmaz. A modell síkbeli geometriai leírás alapul, és nem veszi figyelembe például a függőleges vonalvezetés, a látási viszonyok időbeli változása vagy a forgalmi viselkedés dinamikus jellemzőinek hatását. További kutatási irányt jelenthet ezen tényezők bevonása, valamint a módszer kiterjesztése nagyobb számú, eltérő jellegű helyszín vizsgálatára.

Összességében a bemutatott módszer alkalmas az ívben elhelyezkedő gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági viszonyainak egységes, számszerű értékelésére, és hozzájárulhat a célzott, hatékony beavatkozások megalapozásához.

Köszönetnyilvánítás: A KDP-IKT-2023-900-II-00000957/0000003 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.



Irodalomjegyzék

- [1] European Road Safety Observatory: Pedestrians — Thematic Report. European Commission, 2023.
- [2] Easa, S. M.: Pedestrian crossing sight distance: Lateral clearance guidelines for roadways. Transportation Research Record, 2588(1), 2016, pp. 32–42. DOI: 10.3141/2588-04
- [3] Hooper, K. G. – McGee, H. W.: Driver perception–reaction time: Are revisions to current specification values in order? Transportation Research Record, No. 904, 1983, pp. 21–30.
- [4] Green, M.: How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception–brake times. Transportation Human Factors, 2(3), 2000, pp. 195–216. DOI: 10.1207/STHF0203_1
- [5] Wood, J. S. – Donnell, E. T.: Stopping sight distance and horizontal sight line offsets at horizontal curves. Transportation Research Record, 2436(1), 2014. DOI: 10.3141/2436-05
- [6] Potts, I. B. – Harwood, D. W. – Cook, D. J. – Donnell, E. T. – Hamadeh, B.: Design guidelines for horizontal sightline offsets. NCHRP Research Report 910, Transportation Research Board, Washington, DC, 2019. DOI: 10.17226/25537
- [7] Jung, J. – Olsen, M. J. – Hurwitz, D. S. – Kashani, A. G. – Buker, K.: 3D virtual intersection sight distance analysis using LiDAR data. Transportation Research Part C, 86, 2018, pp. 563–579. DOI: 10.1016/j.trc.2017.12.004
- [8] Castro, M. – Iglesias, L. – Rodríguez-Solano, R. – Sánchez, J. A.: Sight distance analysis of highways using GIS tools. Transportation Research Part C, 19(6), 2011, pp. 997–1005. DOI: 10.1016/j.trc.2011.05.012
- [9] Bassani, M. – Grasso, N. – Piras, M. – Lingua, A. – Teruggi, S.: Estimating the available sight distance in the urban environment by GIS and numerical computing codes. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(2), 2019, Article 69. DOI: 10.3390/ijgi8020069
- [10] Markkula, G. – Engström, J. – Lodin, J. – Bårgman, J. – Victor, T.: A farewell to brake reaction times? Kinematics-dependent brake response in naturalistic rear-end emergencies. Accident Analysis & Prevention, 95, 2016, pp. 209–226. DOI: 10.1016/j.aap.2016.07.007
- [11] Wood, J. – Zhang, S.: Evaluating relationships between perception–reaction times, emergency deceleration rates, and crash outcomes using naturalistic driving data. Mountain-Plains Consortium Report MPC 17-338, 2017. DOI: 10.1177/0361198120966602
- [12] de Santos-Berbel, C. – Essa, M. – Sayed, T. – Castro, M.: Reliability-based analysis of sight distance modelling for traffic safety. Journal of Advanced Transportation, 2017, Article ID 5612849. DOI: 10.1155/2017/5612849
- [13] Hsu, C.-J. – Jones, E. G.: Sensitivity analyses of stopping distance for connected vehicles at active highway-rail grade crossings. Accident Analysis & Prevention, 99(A), 2017, pp. 210–217. DOI: 10.1016/j.aap.2016.12.007
- [14] Mantouka, E. G. – Vakrinou, K. – Christidis, K. N. – Magoutas, B. – Kiouisi, A. – Vlahogianni, E. I.: Automated vehicle traffic: A review of operational challenges, infrastructure requirements and research directions. Sém sors, 26(4), 2026, Atracél 1232. DOI: 10.3390/s26041232
- [15] Liu, Y. – Gargoum, S. – Sayed, T.: Evaluating the impact of vehicle automation on the safety of highway design: A 3D risk assessment approach using reliability theory. Accident Analysis & Prevention, 229, 2026, Article 108444. DOI: 10.1016/j.aap.2026.108444