

Autonóm járművek sávtartásának hatása a pályaszerkezet méretezésre – irodalomkutatás

Effect of lane keeping of autonomous vehicles on road pavement design – literature review

NAGY Richárd, FAHAD Mohammad

Széchenyi István Egyetem,
9026 Győr, Egyetem tér 1.

ABSTRACT

Logistics and freight operators are aiming to bring innovation and efficiency in the current market. Operators have joined hands with the vehicle manufacturers to bring the hassle-free autonomous system to life. Although this new development would bring benefits in terms of safety, economy, highway capacity and efficiency, the effect of usage of autonomous trucks on pavement performance needs to be addressed deeply. Most of the AV technologies mentioned in this review are based on autonomous trucks since the aim of this study is to collect the literature review of the effects of autonomous trucks on pavement performance. Based on the literature, lateral wandering of trucks is one of the fundamental parameters that affect pavement performance. Human-driven autonomous trucks have known to follow a normal distribution of wandering within a lane. On the other hand, autonomous trucks would navigate the lane with zero wander, which would require less lane width but due to zero wander, channelized loading will come into effect which will accelerate pavement rutting and fatigue cracking. This report consists of a comprehensive literature review of current AV technologies, review of the effects of the wandering of human-driven vehicles and autonomous trucks on pavement performance. A detailed review regarding how the lateral wandering of human-driven trucks is quantified and different methodologies to determine the lateral wandering of human-driven trucks is mentioned herein.

KIVONAT

A logisztikusok és áru fuvarozók célja, hogy az innovációs ötletek mellett a legnagyobb hatékonyságot éri el a piaci körülmények között. Ezért az érdekeltek összefogtak, hogy letegyék az alapokat egy problémamentes autonóm rendszer kidolgozására. Noha az új fejlesztések előnyösen érintenék a biztonságot, a gazdaságosságot, az autópályakapacitást kihasználhatósági fokát, ugyanakkor mélyrehatóan érdemes foglalkozni az autonóm tehergépjárművek pályaszerkezetre kifejtett hatásával. E szakmai összefoglalóban említett AV technológiák jellemzően autonóm tehergépjárművek (AT) technológiáiról szólnak mivel célunk, hogy bemutassa az AT-k hatását a pályaszerkezetre. Az irodalmak szerint a tehergépjárművek mozgás közbeni oldalirányú sávon belüli vándorlása az egyik alapvető és leginkább meghatározó paraméter, amelynek hatása van a pályaszerkezetre. Az ember által vezetett teherautókról ismert, hogy a sávon belüli vándorlás normál eloszlását követik. Másrészt, az autonóm teherautók nulla vándorlással haladnának a sávban, amelyhez kevesebb sáv szélesség szükséges, de a nulla vándorlás miatt a csatornázott terhelés lép életbe, amely felgyorsítja a pályaszerkezet romlását és a fáradtságos tönkremenetel bekövetkezését. Ez a cikk a jelenlegi AV-technológiák átfogó irodalmi áttekintésének, az emberi vezetésű járművek és autonóm teherautók járásának a pályaszerkezet teljesítményére gyakorolt hatásainak egy kivonata. Az ember által vezetett teherautók oldalirányú vándorlásának számszerűsítésére vonatkozó részletes áttekintés, valamint az ember által vezetett teherautók oldalsó vándorlásának meghatározására szolgáló különféle módszerek kerülnek említésre.

Kulcsszavak: autonóm jármű, pályaszerkezet méretezés, sávtartás

1. AZ AUTONÓM TEHERGÉPJÁRMŰVEK JELENLEGI FEJLESZTÉSI ÁLLAPOTA

Jelenleg 44 vállalat foglalkozik autonóm autók fejlesztésével (Automotive, 2020), többek között a Daimler, Otto, Tesla és a Volvo is különböző szintű autonóm üzemmódú teherautók gyártásával foglalkoznak. A (Yamanouchi, 2020) által írt cikk szerint az amerikai logisztikai óriásüzemű UPS 10 000 elektromos tehergépjárművet vásárolt az Arrival nevű gyártótól. A szállításra várhatóan 2020 második felétől 2025-ig kerül sor. Ezt a döntést az UPS legnagyobb vevője, az Amazon igényei követelték meg, mivel egynapos szállítási határidőket kell tartaniuk. A TuSimple globális autonóm teherfuvarozó cég 2021-ig tervezi, hogy az Egyesült Államokban közúton hajtja végre kísérleteit autonóm teherautókkal (Papadopoulos, 2020). Ezek a teherautók több mint ezer kilométeres távra képesek, és érzékelők segítségével éjjel és esős időben is üzemeltethetők. De tesztelt már sikeresen a Starky nevű startup cég, a Daimler és partnere a Torc Robotics 4. szintű autonóm járműveket, a Google és a DARPA is együtt fejleszt és teszteli a járműveit. Európában többek között a svédországi Einride Ab vállalat is 4. szintű járművet fejleszt és megkezdte szolgáltatásait Európában 2020 harmadik negyedévében, míg az Egyesült Államokba a negyedik negyedévében.

Az ilyen ütemű fejlődés előrevetíti és igazolhatja azt a jóslatot miszerint az AV-k piaci részesedése az előrejelzések szerint 5 év alatt 11% -ról 34% -ra, 10 év alatt pedig 22% -ról 59% -ra nő. (Belzowski & Mcmanus, 2010)

2. AZ AUTONÓM JÁRMŰTECHNOLÓGIÁK ÉS TÍPUSOK

Megemlíteném (Lutin et al.) cikkét, amiben az AV technológiáknak négy alapvető eleméről ír az érzékelőkről, a térképezésről, a percepcióról és a kommunikációról, összevetve (Cheng, 2011) 5 alapvető elemével ami az érzékelés, lokalizálás és leképezés, útvonaltervezés, döntéshozatal és végül a járművezérlés. Meg kell említeni, hogy az autonóm teherautók értékelésére a nemzetközi közúti szállítási szakszervezet az alábbiak szerint bocsátotta ki szakpolitikai dokumentumát. (Bishop et al., 2015) Miszerint az autonómia szintjét a teherautóknak két csoportra lehet osztani. 1. szint a járművek szoros egymás utáni követése (Truck Platooning) míg a 2. és 3. szint a magasan automatizált rendszer.

3. AZ AUTONÓM TEHERGÉPJÁRMŰVEK KÜLÖNFÉLE FORGATÓKÖNYVEI

Steve Viscelli (Viscelli, 2018) jelentést tett közzé, amelyben ismerteti az autonóm teherautók használatának különböző forgatókönyveit. Hat lehetséges forgatókönyv magyarázható az autonóm teherautók áru fuvarozási piacon történő bevezetésével kapcsolatosan:

- Emberről emberre történő felvonulás,
- emberről a drónra történő osztás,
- az autópálya-automatizálás és drón működés,
- az autó pilot,
- az autópálya kijárat az automatizáláshoz
- végül az objektum-létesítmény automatizálás.

4. AZ AUTONÓM TEHERAUTÓKHOZ KAPCSOLÓDÓ AV TECHNOLÓGIÁK ELŐNYE

Andersson (Andersson & Ivehammar, 2019) költség-haszon elemzést végzett az autonóm teherautók és járművek beépítéséről a már meglévő piacra. A kiszámított paraméterek az általános költségek, a külső hatások és a társadalmi költségek voltak. A tehergépkocsik által megtakarított járművezetői költségeket és a csökkent utazási idő költségeket pénzbe számolják át az AV-k előnyeinek megjelenítéséhez. Ebben a tanulmányban kijelentették, hogy az AV-k használatakor alacsonyabb általános költségek merülnek fel, ha a járműkilométereket vesszük figyelembe.

A tanulmányban olvasható becslések szerint a megtakarított költségek 2025-ben 31,4 millió euró, 2040-re pedig 706,8 millió euró. Ugyan ezt támasztja alá, ha a fokozott közlekedésbiztonságot is figyelembe vesszük, mert így 2025-re a költségek 1,7 millió euróval csökkennek míg 2040-re 44 millió euróval.

5. AZ EMBER ÁLTAL VEZETETT JÁRMŰVEK OLDALSÓ VÁNDORLÁSA ÉS ANNAK HATÁSA A PÁLYASZERKEZET ELLENÁLLÓKÉPESSÉGÉRE

Jelentős számú szakirodalom foglalkozik ezzel a kérdéssel, többek között Rahim és kollégáinak vizsgálata, (Benekohal et al., 1958) akik azt tanulmányozták, hogy a teherautók oldalirányú eloszlásának milyen hatása van a beton pályaszerkezet terhelésére.

Lennie és Bunker (Lennie & Bunker, 2003) video feldolgozással állapították meg a tehergépjárművek oldalirányú mozgásának lefolyását és ennek hatását a sáv szélesség követelményeire. Három különféle kombinált járművel végezték el vizsgálataikat.

Luo és Wang (Luo & Wang, 2013) fejlesztésük egy a felüljáróra szerelt rögzített kamera volt amit arra használtak, hogy a járművek oldalsó helyzetének mérését elvégezze.

Végül de nem utolsó sorban egy szomszédos ország kutatócsoportjára (Blab & Litzka, 1995) hívnám fel a figyelmet akik megállapították, hogy a teherautók oldalirányú nyomkövetését egy sávban befolyásolja a sebesség, a meglévő nyomvályú mélysége és a sáv szélessége. Összesen 27 osztrák útszakaszon végeztek méréseket, hogy a teherautók oldalirányú nyomtartásának eloszlását meghatározzák. Bár a fejezetben még több elemzés és leírás megtalálható a felsorolásukat megszakítom.

6. AUTONÓM TEHERAUTÓK HATÁSA A PÁLYASZERKEZET TELJESÍTMÉNYÉRE

Részletesen két eljárást (Noorvand et al., 2017) és (Chen et al., 2019) hasonlítottuk össze az alábbiak szerint.

Összehasonlítási szempontok: sávtartás eloszlása, forgalom eloszlása, értékelés módszertana, hőmérséklet figyelembevétele a nyomvályú számításnál, tengelyterhelés értéke, nyomvályú kiértékelési rendszer, fáradási tönkremeneteli kiértékelési rendszer, eredmények.

Irodalom	Noorvand et al.	Chen et al.
Oldalirányú eloszlási modellek (sávtartás):	Egy nyomvonalú modell Normál eloszlás Egyenletes eloszlás	Egy nyomvonalú modell Egyenletes eloszlás Dupla csúcosságú Gauss-eloszlás Két részből álló egyenletes eloszlás
Forgalom eloszlásának alakulás a modellben	1.Referencia érték = 100% nem autonóm forgalom 2.Vegyes (integrált) forgatókönyv: 2a: Az autonóm járművek nagy számú előfordulása az autópálya egyik sávjában 2b: Az autonóm járművek egyenlően oszlanak el az autópálya minden sávjában 3.Elkülönített (szegregált) forgatókönyv 3a: Külön sáv az autonóm járművek számára 3b: Az autonóm járművek elvegyülnek az összes sávban ha az arányuk a forgalomban meghalada az 50%-ot.	Forgatókönyvek: F1. 0% autonóm, 100% hagyományos, F2. 25% autonóm, 75% hagyományos, F3. 50% autonóm, 50% hagyományos, F4. 75% autonóm, 25% hagyományos, F5. 100% autonóm, 0% hagyományos,
Értékelési módszertan	A pályaszerkezetvastagságának kiszámítása különböző oldalirányú vándorlási módok és forgalmi kombinációk esetén Pályaszerkezet méretező szoftver	A felhalmozott alakváltozás számítása mikor a nyomvályú nagysága eléri a 6 mm-t és a 15mm-t.

Irodalom	Noorvand et al.	Chen et al.
	<p>Ekvivalenciatényező meghatározása az egyenletes terhelések modellezéséhez, a forgalom bemeneti értékeinek megváltoztatásával.</p> <p>Három lépcsős eljárás:</p> <p>Első lépés a kritikus deformációt elérő áthaladási szám meghatározása a normál és az egyenletes eloszlás alapján.</p> <p>Második lépés a féltapasztalati modellekben használt megnyúlások modellezése a nyomvályúsodás és a fáradásos tönkremenetel számításához.</p> <p>Harmadik lépés az átviteli függvény meghatározása és alkalmazása a pályaszerkezet károsodásának számításához.</p> <p>Miután kiszámolták az ekvivalencia tényezőt a pályaméretező szoftverbe ez alapján újra számították a pályaszerkezet vastagságát.</p>	<p>Hasonlóan számítja a tönkremenetelt a kritikus megnyúlási válaszból amit az áthaladások számából kalkulál.</p> <p>Az összes eredményt összehasonlítják a különböző oldalirányú vándorlási módokkal és a forgalmi kombinációkkal.</p> <p>Használt programok: 2D FEM, ABAQUS</p>
Figyelembe veszi-e a modell a pályaburkolat hőmérsékletének alakulását a nyomvályúképződés modellezésében?	Nem	Igen
Forgalomból származó terhelési paraméterek	80 kN sztandard tengelyterhelés, 30 cm középpont-középpont távolsággal	100 kN sztandard tengelyterhelés 4 millió tengely áthaladás középponti távolság két tengely között 31,95 cm
Nyomvályú kialakulásának értékelése	A gumiabroncs alatti pályaszerkezeti megnyúlás nagyságának számítása és az átviteli függvény számítása. Különböző teherkombinációkat, más-más pozíciókban elhelyezve a terhelést, alkalmazva modellezzik a tönkremenetelt.	$F(x) = 4.7327 \ln(x) 56.65, R2 = 0.9898$ (FEM)
Fáradási tönkremenetel értékelése	A kritikus deformáció számítása a kettős gumiabroncs középpontja alatt és az átviteli függvény alkalmazása a fáradási által okozott alakváltozások kiszámításához.	$N_f = 1,135 * 10^{-3} * 10^M * E^{-0,854} * \epsilon_t^{-3,291}$ <p>Az ABAQUS segítségével a pályaszerkezeti réteg alján keletkező kritikus megnyúlás alapján határozható meg.</p> $N_f = 4,277 * 10^{-6} * \epsilon_t^{-3,333}$ <p>N_f a normál tengelyterhelések száma a fáradási élettartam elérése előtt. M egy paraméter E a keverék merevsége ϵ_t a húzási feszültség a pályaszerkezet alsó szálában</p>
Eredmények	A legkedvezőbb forgatókönyv az egyenletes tehereloszlás szerinti 3b. Amely megköveteli a 22cm vastagságú pályaszerkezetvastagságot.	Kétirányú egységes mód és az F5 használatával a karbantartási időt ki lehet tölteni 2,56 évvel

7. KÖVETKEZTETÉSEK

Az általunk olvasott tanulmányok megvizsgálták a hagyományos teherautók és az autonóm teherautók különféle lehetséges integrációs módozatait a teherautó-forgalom százalékában kifejezve. Ezenkívül a sávós vándorlás különféle módjait mutatták be, a nulla vándorlástól kezdve a két szakaszos egységes üzemmódig. Ezek a tanulmányok egységes eloszlási módok alkalmazását sugallják, amelyek valójában meghosszabbíthatják a pályaszerkezet élettartamát. Ha az autonóm tehergépkocsik a jövő részei lesznek, akkor a vándorlás egységes eloszlási mintáját kell használni, amely kitolhatja a pályaszerkezet felújítási idejét és csökkentheti a pályaszerkezet tervezési vastagságát. Ebben az esetben, ha minél nagyobb az autonóm járművek százaléka a forgalomban, annál kedvezőbb hatást gyakorol a pályaszerkezetre a forgalom. Ugyanakkor vannak korlátjai is a modelleknek, mivel ezekben a dokumentumokban a lehetséges teherkombinációk közül csak egy típust vettek figyelembe. Továbbá az időjárás és éghajlati viszonyokat, a sebességet és a gyorsulási sebességnek a pályaszerkezetre gyakorolt hatásait nem vették figyelembe.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- Andersson, P., & Ivehammar, P. (2019). Benefits and Costs of Autonomous Trucks and Cars. *Journal of Transportation Technologies*, 09(02), 121–145. <https://doi.org/10.4236/jtts.2019.92008>
- Automotive. (2020). *40+ Corporations Working On Autonomous Vehicles*. <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>
- Belzowski, B. M., & Mcmanus, W. (2010). *ALTERNATIVE POWERTRAIN STRATEGIES AND FLEET TURNOVER IN THE 21ST CENTURY*. August.
- Benekohal, R. F., Hall, K. T., & Miller Harlan w. (1958). Effect of Lane Widening on Lateral Distribution of Truck Wheels. *Transportation Research Record*, 14, 57–66.
- Bishop, R., Bowman, D., Boyd, S., Drinkard, D., Kailas, A., Korn, A., Murray, D., Poorsartep, M., Rini, G., & Williams, D. (2015). White Paper: Automated Driving & Platooning - Issues and Opportunities. *ATA Technology & Maintenance Council, Future Truck Program, Automated Driving and Platooning Task Force, 2015*, 1–48. http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/ITFVHA15/ITFVHA15_USA_FutureTruck_AD_P_TF_WhitePaper_Draft_Final_TF_Approved_Sept_2015.pdf
- Blab, R., & Litzka, J. (1995). Measurements of the lateral distribution of heavy vehicles and its effects on the design of road pavements. *Proceedings of the International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions*, 389–395.
- Chen, F., Song, M., Ma, X., & Zhu, X. (2019). Assess the impacts of different autonomous trucks' lateral control modes on asphalt pavement performance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103(March), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.001>
- Cheng, H. (2011). *Autonomus Intelligent Vehicles*.
- Lennie, S., & Bunker, J. (2003). *Evaluation of Lateral Position for Multi Combination Vehicles*. November.
- Luo, W., & Wang, K. C. P. (2013). Wheel path wandering based on field data. *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements - Proceedings of the 2013 Airfield and Highway Pavement Conference*, 506–515. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.040>
- Lutin, J. M., Kornhauser, A. L., & Lerner-Lam, E. (n.d.). *The Revolutionary Development of Self-Driving Vehicles and Implications for the Transportation Engineering Profession Corresponding*. 1–12.
- Noorvand, H., Karnati, G., & Underwood, B. S. (2017). Autonomous vehicles: Assessment of the implications of truck positioning on flexible pavement performance and design. *Transportation Research Record*, 2640(April 2018), 21–28. <https://doi.org/10.3141/2640-03>
- Papadopoulos, L. (2020). *Automated Trucks Are Coming Much Sooner Than You Think*. <https://interestingengineering.com/automated-trucks-are-coming-much-sooner-than-you-think>
- Viscelli, S. (2018). *Driverless? Autonomous Trucks and the Future of the American Trucker*. September, 73.
- Yamanouchi, K. (2020). *UPS orders 10,000 electric delivery trucks, plans test of self-driving vans*. <https://www.boston.com/cars/car-news/2020/03/22/ups-orders-10000-electric-delivery-trucks-plans-test-of-self-driving-vans>