Széchenyi István Egyetem
Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése
Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Mika Péter

PÁLYASZERKEZET RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATA ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Doktori tézisek

Témavezető neve:
Dr. habil. Horváth Balázs, Széchenyi István Egyetem

Győr, 2022

1. A kutatási téma ismertetése

Az út üzemeltetése során a pályaszerkezet élettartama az egyik legnagyobb műszaki-gazdasági jelentőségű kérdés [1]. A forgalom az egyik olyan tényező, ami leginkább befolyásolja a hátralévő élettartamot, ezért ennek vizsgálatával is foglalkoztam a kutató munkám során. A fenntartási munkához szorosan kapcsolódik a meglévő út állapotértékelése, mely kutatási munkám fő irányvonala. A téma könnyebb megértése és az átláthatóság érdekében elvégeztem az állapotértékelési, állapotfelvételi, állapotparaméterek rendszerbe foglalását, amely során fontosnak tartottam külön választani a burkolat és a forgalmi állapotokat. A pályaszerkezet méretezését a CBR (talaj teherbírás) és TF (tervezési forgalom) paraméterek ismeretében végzik [2], ezért mindkét tényező pontos meghatározása fontos a tervezés, illetve a megerősítés tervezése során. A legtöbb európai ország a behajlást tekinti műszaki paraméternek, amelynek egyik mérőeszköze az FWD (Falling Weight Deflectometer) berendezés. Ezzel mintegy 4500 km hosszú úthálózat állapotát lehet felmérni egy év alatt. A legnagyobb baj ezzel a módszerrel, hogy különböző pályaszerkezetek esetén is adódhat ugyanolyan mértékű behajlás [3]. Egy másik teherbírás teljesítményi mérőszám a hátralévő élettartam, amely a legtöbb tanulmány szerint a legalkalmasabb mérőszám. A szakirodalomban fellelhető több olyan műszaki paraméter, amely könnyen alkalmazható teljesítmény mérőszámként [4]. A forgalmi adatok közül a három legfontosabb paraméter a forgalomnagyság, a forgalomsebesség és a forgalom sűrűség. Ezek összefüggését *Greenshields* vizsgálta először 1935-ben, amikor a forgalomnagyságot ábrázolta a sebesség függvényében. Az ő nevéhez fűződik a fundamentális diagram [5]. Ebben a témában a legfontosabb három szakirodalom *Herman, Haight és Gerlough* nevéhez fűződik [6]–[8].

Az elvégzett kutatás fő célja a meglévő úthálózat állapot jellemzésére szolgáló állapotfelvételi és értékelési rendszerek fejlesztése. A téma aktuális és rendkívül kutatott terület, sok paraméter játszik szerepet a burkolat leromlásában. A leromlási folyamatban szerepet játszó összes paraméter vizsgálata meghaladja egyetlen doktori értekezés kereteit. Ezen tény felismerése, valamint a rendelkezésre álló adataim és eszközeim számbavétele után arra a következtetésre jutottam, hogy le kell szűkítenem a vizsgálandó paramétereket. Az állapotparaméterek rendszerbe sorolását követően csak a dinamikus kerékterhelő erőn alapuló mérési módszerhez kapcsolódó paraméterek részletes vizsgálatával foglalkoztam.

2. A kutatás során kitűzött főbb céljaim

- Dinamikus keréktalperő mérésen alapuló vizsgálattal igazolni, hogy egyenetlen útfelület esetén jelentős többletterhelés adódik át az útra ugyanazon járműsebesség mellett.
- Felkutatni, elemezni a pályaszerkezetekkel kapcsolatos szakmai előírásokat, szabványokat, amelyek alapján megfogalmazhatóak a hátralévő élettartam számításához szükséges paraméterek.
- Gyorsulás szenzoron alapuló járműtrajektória és keréktalperő mérési módszerek kidolgozása.
- Egy adaptív járműkövetési modell kidolgozása a forgalom modellezéséhez.
- Egy dinamikus keréktalperőn alapuló útállapot értékelő rendszer kidolgozása.

3. A célkitűzések megvalósításához alkalmazott módszerek

A kutatáshoz szoftver és hardver elemekre is szükségem volt. A mérések elvégzéséhez korszerű gyorsulás szenzorokat, GPS-t, lézeres távolságmérőt, nagysebességű kamerát, automata váltós járművet használtam. A mérési adatok feldolgozásához statisztikai szoftverre és szimulációs szoftverekre, mint például a Vissim, a Matlab, a Scilab, továbbá az AutoCad-re volt szükségem. Ezen kívül még az Excelt használtam a mérési adatok kiértékeléséhez.

4. A kutatási eredmények gyakorlati alkalmazása

Az általam kidolgozott mérési eljárás és út állapotértékelési rendszer segítség lehet a közútkezelők számára az útfelújítás, karbantartási munkák döntéshozatalakor. Ezt a módszert az Egyetemen folyó Útépítés, Közúti forgalomtechnika oktatás tananyagának továbbfejlesztésekor is hasznosítani lehet. A megalkotott adaptív járműkövetési modell a Forgalomtervezés és irányítás tantárgy oktatása során alkalmazható.

5. Tudományos eredmények összegzése

1. tézis: Gyorsulásszenzoros járműtrajektória mérés esetén giroszkóp használatával nincs szükség a mért adatok kompenzálására (3.1.1, 3.1.2 fejezetek)

Igazoltam, hogy egy lejtőn giroszkópra helyezett gyorsulásszenzort mozgatva a vízszintes síkra vetített távolság az adott síkon pontos lesz.

Feltételezésem szerint egy változatos nyomvonalvezetésű útszakaszon végighaladva a járműben fixen elhelyezett háromtengelyes gyorsulásszenzorral nem lehet pontosan nyomon követni a jármű mozgását. A mért értéket mindenképp kompenzálni kell. Ezt a hipotézist igazolja a giroszkóppal kompenzált gyorsulásszenzoros járműtrajektória mérés. Kísérleti úton bizonyítottam, hogy giroszkóppal történő kompenzáláskor 98% feletti mérési pontosság érhető. A mérés pontosságát nem befolyásolja a mintavételi frekvencia és független a jármű sebességétől.

A tézishez tartozó saját publikációim:[S4],[S5]

2. tézis: Egy útszakaszon a megengedett sebességhatár tartása és a sebességhatár értéke közt nincs összefüggés (3.1.3 fejezet)

Kidolgoztam egy GPS alapú mérési módszert, amellyel az egyes útszakaszok megengedett járműsebesség tartásának térbeli eloszlását lehet jellemezni. A kidolgozott módszerrel egy forgalomban haladó mérőautóval GPS koordinátákat kell rögzíteni, majd az adatok utólagos feldolgozásával meghatározható az áramlási sebesség. A módszer megfelelőségét helyszíni vizsgálattal ellenőriztem.

Feltételezésem szerint az általam vizsgált úthálózaton, a külterületi útszakaszokon jellemzően 90km/h sebesség alatt lehet haladni. Ezt a hipotézist igazolja az adott útszakasz sebességhatár tartásának vizsgálata miszerint a megtett út közel 80%-ában a megengedett sebességhatár alatt volt a forgalomáramlás sebessége.

A másik feltételezésem szerint a vizsgált úthálózaton nem a 20km/h-ás sebességet lehet legjobban tartani. A hálózaton mért sebességek vizsgálatával kimutattam, hogy a legnagyobb mértékű sebességtartás a 40km/h sebességhatár esetén történt.

3. tézis: A forgalmi hullámok terjedési sebességének meghatározási módszerei jelentős eltérést mutatnak a kialakult hullámterjedés sebesség tekintetében (3.2.1, 3.2.2 fejezet)

Rámutattam, hogy a forgalomban haladó minden jármű rendelkezésre álló helyadata alapján a forgalom lefolyása jellemezhető a járműtrajektóriákkal. Jelenleg nincs minden közúti jármű felszerelve pozícióméró eszközzel, így nem lehetséges a teljes járműfolyam pozíció adatainak gyűjtése és feldolgozása, ezért modellezésre van szükség.

Feltételezésem szerint, a hullámterjedés sebességének meghatározásához alkalmazott módszerek eredményei eltérést mutatnak. A helyadatok rögzítése gyorsulásszenzorral lehetséges (lásd 1. tézis). A járműtrajektóriák előállításához olyan járműkövetési modellt dolgoztam ki, amely a követési távolságból számított érzékenységi tényezővel lágy átmenetet képes megvalósítani a gyorsítás és lassítás között, így realisztikusabb reakciót eredményez egy incidens során. Ezzel a modellel állítottam elő a járműtrajektóriákat. A forgalmi hullámok terjedési sebességének

meghatározásához járműtrajektória alapú mérési módszert dolgoztam ki. A hullámterjedés sebességét a forgalomáramlás sebességének függvényében ábrázolva kimutattam a mérési módszerek eredményei közti különbséget.

A tézishez tartozó saját publikációim:[S1],[S2],[S3]

4. tézis: A dinamikus keréktalperő forgalomban mért adataiból meghatározható a burkolat felületi egyenetlenségéből adódó többletterhelés (4.2. fejezet)

Bebizonyítottam, hogy a megfelelően megválasztott peremfeltételek esetén meghatározható a felületi egyenlőtlenségből adódó többletterhelés. A járművön belül a rugózott tömegen a bólintási centrum, a jobb első keréknél a forgáspont közelében elhelyezett gyorsulásszenzorral egy kátyún áthajtva kimutatható az úthiba okozta többletterhelés.

Feltételezésem szerint egy egyenetlen felületű burkolaton haladó jármű kerekére jutó többletterhelés szignifikánsan nő a jármű sebesség növekedésével. Ezt a hipotézist igazolja a dinamikus keréktalperő mérése közúti forgalomban. A vizsgálat szerint egyenetlen útfelület esetén a sebességgel egyenes arányban nő a dinamikus keréktalperő. Kidolgoztam egy módszert a dinamikus keréktalperő mérésére, amely a közúti forgalomban is alkalmazható 70km/h sebességig. Kimutattam, hogy 70km/h sebességgel haladva a vizsgált úton 30%-kal nő a dinamikus keréktalperő. További vizsgálattal igazoltam, hogy a személygépjármű és a tehergépjármű rugózott és rugózatlan tömegen mért gyorsulásértékei nagyságrendileg azonosak, így a mérőeszközzel személygépjárműre vagy teherautóra telepítve is lehet mérni. Az eljárás megfelelőségét valós közúti forgalmi viszonyok közötti méréssel ellenőriztem.

A tézishez tartozó saját publikációm:[S7], [S8], [S9], [S10]

5. tézis: A hátralévő élettartamot leginkább a dinamikus keréktalperő befolyásolja (4.3. fejezet)

Kidolgoztam egy módszert, amely alkalmas közvetlenül a keréktalperőből hátralévő élettartam számításra. Ha egyenetlen az útfelület, akkor adott sebesség mellett a statikus terheléshez viszonyítva nagyobb terhelőerők lépnek fel (lásd 4. tézis). A megnövekedett terhelőerő deformációs meghibásodáshoz vezethet, de nem ritka a fáradási jellegű törés sem, ami csökkenti a hátralévő élettartamot.

Feltételezésem szerint a leromlási folyamatban a dinamikus keréktalperő a legnagyobb jelentőséggel bíró tényező. A saját matematikai modellemben ennek az erőnek az ismerete és a helyes modell paraméterek beállítása mellett jól becsülhető a hátralévő élettartam. A befolyásoló paraméterek összegyűjtése után elvégeztem egy összehasonlító elemzést. Kimutattam, hogy a legnagyobb változást a dinamikus keréktalperő okozza. Kimutattam, hogy a modell megfelelően érzékeny ennek az erőnek a változására, ami a valóságban előforduló megnyúlásokat eredményez. A modell használhatósága az erő pontos meghatározásán múlik.

A tézishez tartozó saját publikációm:[S6]

6. Összegzés

A kutatási munkám az útfenntartás területén a gyakorlatban is felhasználható eredményeket tartalmaz. A végső útállapot értékelő rendszer mind a forgalmi, mind pedig a burkolatállapot jellemzőit figyelembe veszi. A rendszer nagyobb súllyal veszi számításba a kerékterhelő erőt, valamint az abból számolható hátralévő élettartamot.

A forgalmi paraméterek meghatározásához újfajta mérési módszert dolgoztam ki. A gyorsulásszenzoros járműtrajektória módszer validálásához terepi méréseket végeztem. A vizsgálatot előre kijelölt 100 m hosszú jó minőségű egyenletes és vízszintes felületű úton kezdtem. A vizsgálatból megállapítottam, hogy lehetséges a trajektória mérés, viszont ahhoz, hogy bármilyen útvonalvezetés esetén alkalmazható legyen, szükséges giroszkópot alkalmazni. További giroszkóppal kompenzált mérést végeztem valós forgalmi környezetben egy olyan belvárosi utcán, amely változatos vízszintes és függőleges vonalvezetéssel rendelkezik. A vizsgálat bizonyította, hogy a kidolgozott módszer pontosabb a GPS-nél.

A forgalmi hullám terjedési sebességének meghatározására kidolgozott járműtrajektóriák módszerét implementáltam. Megállapítottam, hogy ez a módszer adja a legpontosabb eredményt, viszont ennek a legnagyobb az adat és számítás igénye. A járműtrajektóriák létrehozásához a saját fejlesztésű adaptív járműkövetési modellt (ACFM) implementáltam, amely azzal az előnnyel rendelkezik a szakirodalomban található hasonló modellekhez képest, hogy mérsékeltebb reakciót vált ki, mint az IDM modell, amely csökkenti a hullámterjedés sebességét, így javítja a forgalomáramlást. Sikerült egy új egyszerűen alkalmazható járműkövetési modellt megalkotnom, amely realisztikusabban modellezi a valóságot, az érzékenységi tényezőnek köszönhetően. A járműkövetési modell használatához kidolgoztam egy MATLAB kódot, amellyel a szimulációt végrehajtottam.

Vizsgálattal igazoltam, hogy a forgalom áramlás sebességének ismerete szükséges a pontos kerékterhelő erő maghatározásához. Főként Győrben város belterületén, de külterületi hosszú távú utazások során összesen 1865 km megtett távolságot rögzítettem GPS segítségével. A megengedett sebességhatárokat pontos helykoordináknak megfelelően EOV rendszerben CAD szoftverrel rögzítettem. Rámutattam, hogy a vizsgált útszakaszokon a legnagyobb arányban a 40km/h-ás sebességet lehet tartani. Bizonyítottam, hogy a vizsgálat alkalmas a forgalomáramlási sebesség meghatározására.

Kidolgoztam egy gyorsulásszenzoron alapuló mérési eljárást, amellyel mérhető a dinamikus kerékterhelő a közúti forgalomban egészen 70km/h sebességig. A mért eredmények felhasználhatók az útfenntartáshoz szükséges újfajta dinamikus kerékterhelő erőn alapuló útállapot értékelő rendszer (DWLFI) számára, amelyből meghatározható a kerékterhelő erő nagysága az áramlási sebesség függvényében, a kerékterhelő erő görbe meredeksége, a hátralévő élettartam és a központi behajlás értéke. Ezeket valamint a forgalmi állapot paramétereket figyelembe véve a DWLFI rendszer gyors útállapot értékelést tesz lehetővé.

7. A tézisfüzetben hivatkozott saját publikációk

[S1] Mika P., ‘A közúti forgalmi hullámok vizsgálati módszereinek elemzése’, *Új Nemzeti Kiválóság Program Tanulmánykötet*, pp. 191–198, 2018.

[S2] P. Mika, ‘Adaptive Car Following Model’, *Strojnícky Cas. – J. Mech. Eng.*, vol. 68, no. 3, pp. 281–288, Nov. 2018, doi: 10.2478/scjme-2018-0041.

[S3] P. Mika, ‘How to analyze traffic waves’, *Hadmérnök*, vol. XIII., no. 3, pp. 101–113, 2018. [

[S4] Mika P., ‘Járműtrajektória előállítása gyorsulás szenzorból nyert adatokból’, *Közlekedéstudományi Szemle.*, vol. 69, no. 5, pp. 18–28, 2019, doi: 10.24228/KTSZ.2019.5.2.

[S5] Mika P., ‘Giroszkóppal kompenzált gyorsulás szenzoros járműtrajektória mérés’, *Közlekedéstudományi Szemle*, vol. 70. no. 5, pp. 34-47, 2020. doi: 10.24228/KTSZ.2020.5.3.

[S6] Mika P., ‘Pályaszerkezet hátralévő élettartam becslés a keréktalperő alapján’, *Közlekedéstudományi Szemle* vol. 70. no. 6, pp.21-33, 2020. doi. 10.24228/KTSZ.2020.6.2

[S7] Mika P.., ‘Dinamikus keréktalperő mérés a közúti forgalomban’, *Közlekedéstudományi Szemle*

[S8] Hajdu, F., Szalai, P., Mika, P., Kuti, R.: Parameter Identification of a Fire Truck Suspension for Vibration Analysis, Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences, Vol. 14 No. 3, 2019, pp. 51-62.

[S9] Hajdu, F., Mika, P., Szalai, P., Horváth, P., Kuti, R.: Determination of Vibrations Caused by the Road Profile in Case of a Fire Truck, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and technology Vol. 6 No. 3, 2019, pp. 52-58.

[S10] Hajdu, F., Mika, P.: Road Failure Measurement for Numerical Simulation of a Nonlinear Fire Truck Suspension, Proceedings of the IIER International Conference, Helsinki, Finland, 17th-18th February 2019, pp. 1-6.

A tézisfüzet nem saját hivatkozásai

[1] L. Gáspár, *Útgazdálkodás*. Budapest: Akadémia kiadó, 2003.

[2] C. Tóth and P. Primusz, 'New hungarian mechanistic-empirical design procedure for asphalt pavements', *15.volume*, no. 1 issue, pp. 161–186, 2020.

[3] P. Primusz and I. Szentpéteri, 'Útpályaszerkezetek modellezése 3.rész', *Útügyi lapok*, 2014.

[4] Boromisza Tibor, Gáspár László, and Károly Róbert, 'Útpályaszerkezetek teherbírása Hazai és külföldi eredmények és problémák', *Közúti és mélyépítési szemle*, vol. 58, no. 5–6, pp. 1–9, 2008.

[5] B. D. Greenshields, 'A study of traffic capacity', *Proc. Highw. Res. Board*, no. 14, pp. 448–477, 1935.

[6] R. Herman, 'Theory of Traffic Flow', *American Elsevier Publishing Co.*, 1961.

[7] F. A. Haight, 'Mathematical Theories of Traffic Flow', 1963.

[8] D. L. Gerlough and D. G. Capelle, 'An Introduction to Traffic Flow Theory', *Highway Research Board*, 1964.