Major Zoltán

Kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek elemző vizsgálata és komplex méretezési módszer kifejlesztése

Doktori tézisek

Témavezető

Dr. Horvát Ferenc főiskolai tanár

ÉÉKK Közlekedésépítési Tanszék

Széchenyi István Egyetem

Széchenyi István Egyetem

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Győr, 2016.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés 3

A kutatási probléma felvázolása 4

Kutatási célkitűzések 6

A kutatás során alkalmazott módszerek 7

2. Az értekezés téziseinek összefoglalása 7

1. Tézis: 7

2. Tézis: 7

3. Tézis: 8

4. Tézis: 8

5. Tézis: 8

6. Tézis: 8

7. Tézis: 9

8. Tézis: 9

9. Tézis: 9

10. Tézis: 9

3. Összegzés 10

4. További kutatási irányok 10

Irodalomjegyzék 11

A szerző publikációs listája 11

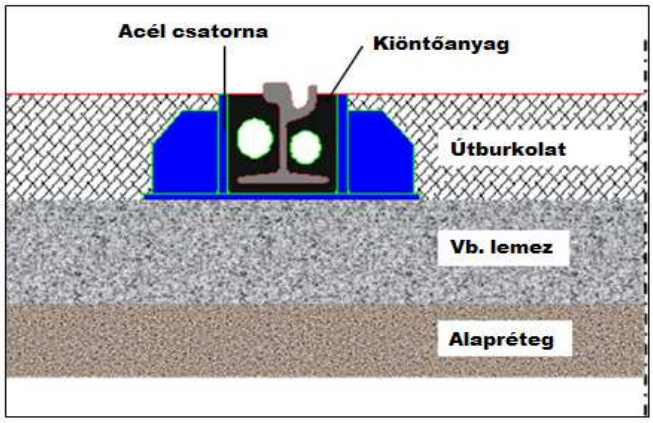
Hivatkozott irodalmak listája 12

1. Bevezetés

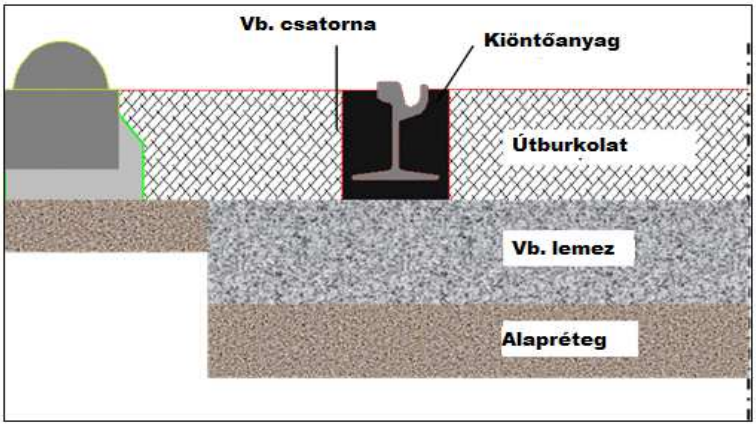
A vasúti közlekedéssel szemben támasztott fokozódó követelményeknek köszönhetően (zaj- és vibrációs terhelés, valamint az élettartam költségek csökkentése) hazánkban is egyre nagyobb tért hódítanak a kiöntött síncsatornás felépítmények. Ezeket itthon elsősorban hidakon, útátjárókban, alagútban, valamint városi vasúti pályákban alkalmazzák. A kialakítás előnyös és hátrányos tulajdonságait az alábbi felsorolás foglalja össze.

- A kiöntött síncsatornás pályaszerkezet előnyei:
  - Kedvező zaj- és rezgéscsillapító képességgel bír.
  - Homogén, rugalmas megtámasztást biztosít a sín hossza mentén mind vízszintes, mind függőleges értelemben.
  - Minimális a fenntartási igény.
  - Kedvező élettartam-költségekkel rendelkezik.
  - Egyenáramú vontatás (közúti vasút) esetén a kóboráram korrózió ellen védi a beágyazott sínszálat.
- A pályaszerkezettel kapcsolatban megemlítendő az is, hogy:
  - Pontos kivitelezést igényel.
  - A kivitelezés nagyfokú technológiai fegyelmet igényel.
  - A kiöntő anyag költséges.

Az 1. és 2. ábrák szemléltetnek burkolt villamosvasúti vágányban alkalmazható keresztmetszeti megoldásokat. Az első ábrán acél síncsatornával valósul meg a kiöntött síncsatornás szerkezet, míg a másodikon beton síncsatornában. A két szerkezet között statikai szempontból különbség nem tehető, a csatorna anyagának megválasztása elsősorban a helyi adottságoktól valamint az építéstechnológiai követelményektől függ.



1. ábra: Kiöntött síncsatornás vágány 59Ri2 (Ri59-R13) vályús sínnel, acél síncsatornában, PVC cső takaréküregekkel



2. ábra: Kiöntött síncsatornás vágány 59Ri2 (Ri59-R13) vályús sínnel, beton síncsatornában, takarék-üregek nélkül

A kialakított szerkezetek közös jellemzője, hogy az előre kialakított síncsatornában a sínszál „úszik” a kiöntőanyagban. Annak érdekében, hogy a kiöntőanyag mennyiségét minimalizálni lehessen a szerkezet tartalmazhat takaréküregeket (PVC cső) vagy beton idomköveket is. Az elérni kívánt sínalátámasztási tényező beállítására két lehetőség kínálkozik vagy az aláöntés anyagát illetve vastagságát változtatják, vagy rugalmas szalagokat helyeznek el a síntalp alatt.

Értekezésemben megóhajtom állapítani, hogy az egyes tényezők változtatása miképp befolyásolja a szerkezet terhelés alatti viselkedését.

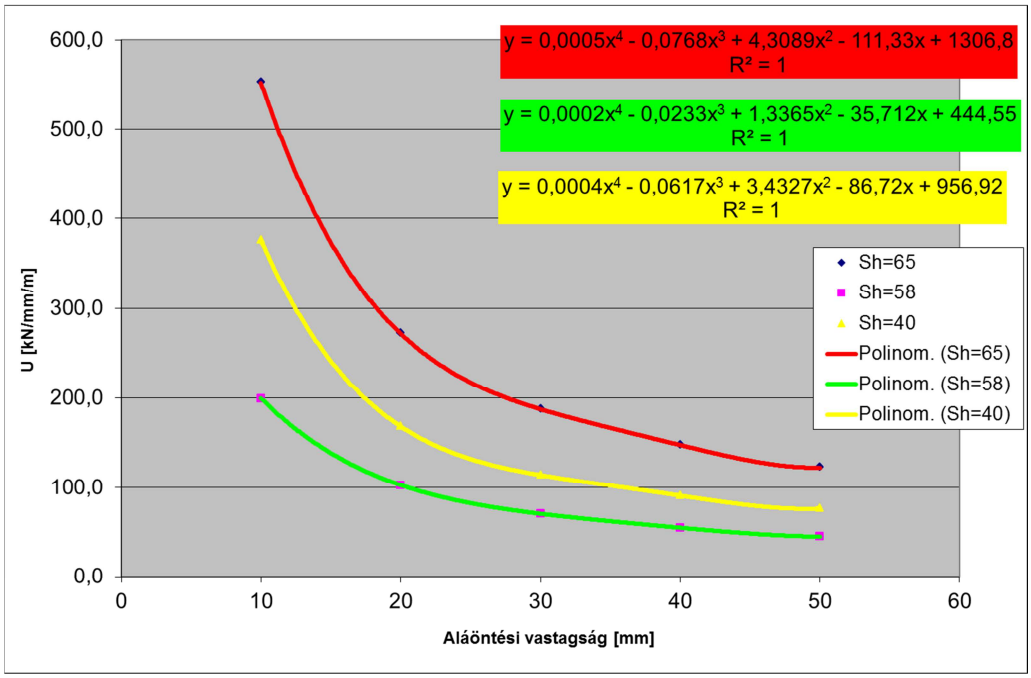
A kutatási probléma felvázolása

A kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek gyakorlati tervezését megnehezíti az a tény, hogy a méretezésükhöz szükséges rugóállandók csak korlátozott mértékben állnak rendelkezésre. A gyártók ugyan közölnek statikus, egyes esetekben dinamikus rugóállandókat a különféle kiöntőanyagokból készített próbatestekre, azonban ezeknek a próbatesteknek mérete és a vizsgálatok terhelési tartománya is gyártó specifikus. Ugyanakkor a tervezendő kialakítás viselkedését (járműteher alatti igénybevételeket, sínsüllyedéseket) a kiöntési méretek, elsősorban a síntalp alatti anyagvastagság, valamint a sínprofil döntő mértékben befolyásolják. Ezért minden gyakorlati tervezési feladat igényli, hogy előtte a megvalósítani kívánt kialakítással laboratóriumi terhelési mérések történjenek, ami idő- és költségigényes eljárás.

Megoldásként felmerül a végeselemes modellezés lehetősége is, hiszen a futtatásokkal nagy mennyiségű adat nyerhető. Ekkor azonban gondot okoz(hat)nak a bemenő adatok, amelyet egy gyakorlati tervezési feladatom megoldása során tapasztaltam. A különféle kiöntő anyagokat gyártó cégek által kiadott adatlapok közlik az anyag Shore A keménységének és a Poisson-tényezőnek az értékét. Ez utóbbi pontos ismerete a végeselemes számításhoz nélkülözhetetlen. Ugyanazon gyártó három, eltérő rugalmasságú kiöntőanyagának Poisson-tényezőivel végrehajtott számítás eredményeként azt tapasztaltam, hogy minden egyéb paraméter azonossága mellett a számítással kapott sínalátámasztási rugalmassági tényezők U (kN/mm/m) és a közölt Shore A értékek között ellentmondás van. A 3. ábra szerint a Sh = 40 anyag keményebbnek bizonyult, mint az Sh = 58 keménységű. (Az ábrán a sárga diagramvonal a zöld felett halad.)

Számításaim másik felismerése az volt, meg kell vizsgálni, igaz-e az a gyakorlatban használt feltételezés, hogy a kiöntőanyag síntalp alatti vastagsága és a statikus függőleges rugóállandó értéke között lineáris kapcsolat áll fenn. Rugalmassági okból a síntalp alatt (rugalmas talpszalag hiányában) általában 25 mm kiöntési vastagsággal történik a tervezés/építés, míg a felső határt a megkívánt alátámasztási rugalmasság és gazdasági szempontok (a túl nagy vastagság kerülendő) határozzák meg. Ezért a gyakorlati aláöntési vastagság 25-40 mm között változik. Az elmúlt évek hazai kivitelezési gyakorlatában esetenként jelentős helyi építési pontatlanságok is előfordultak. A túl kicsiny aláöntési vastagság kemény pontokat/szakaszokat, a túl nagy pedig lágyakat eredményez. Márpedig a sínalátámasztás rugalmasságának hirtelen, kedvezőtlen megváltozása a járművek áthaladása során többlet dinamikai hatásokat, így nagyobb igénybevételeket, deformációkat gerjeszthet, amelyek a pályaszerkezet élettartamát kedvezőtlenül befolyásolhatják.

A fenti gondolatok alapján a már említett végeselemes számításaimat úgy készítettem el, hogy azok az aláöntési vastagság 10…50 mm-es mértékének a sínalátámasztás rugalmasságára (U tényezőre) való hatását is tükrözzék. Az ábrából jól látható, hogy az aláöntési vastagság függvényében a sínszál alátámasztási rugalmassági tényezője (rugóállandója) nem lineárisan változik, hanem magasabb fokú polinommal vagy hatványfüggvénnyel jellemezhető.



3. ábra: A sínalátámasztási merevség az aláöntési vastagság függvényében

Kutatási célkitűzések

A vasúti közlekedéssel szemben támasztott fokozódó követelményeknek köszönhetően (zaj- és vibrációs terhelés, valamint az élettartam költségek csökkentése) hazánkban is egyre nagyobb tért hódítanak a kiöntött síncsatornás felépítmények. A kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek gyakorlati tervezését megnehezíti az a tény, hogy a méretezésükhöz szükséges rugóállandók csak korlátozott mértékben állnak rendelkezésre. A gyártók ugyan közölnek statikus, egyes esetekben dinamikus rugóállandókat a különféle kiöntőanyagokból készített próbatestekre, azonban ezeknek a próbatesteknek mérete és a vizsgálatok terhelési tartománya is gyártó specifikus. Ugyanakkor a tervezendő kialakítás viselkedését (járműteher alatti igénybevételeket, sínsüllyedéseket) a kiöntési méretek, elsősorban a síntalp alatti anyagvastagság, valamint a sínprofil döntő mértékben befolyásolják. Ezért minden gyakorlati tervezési feladat igényli, hogy előtte a megvalósítani kívánt kialakítással laboratóriumi terhelési mérések történjenek, ami idő- és költségigényes eljárás.

A fentiek alapján értekezésemben kettős célt tűztem magam elé:

- laboratóriumi és elméleti vizsgálattal megállapítani a kiöntött síncsatornás pályaszerkezet méretezése szempontjából fontos paramétereket, egy gyártó három különböző kiöntő anyagára,
- létrehozni egy olyan komplex méretezési eljárást, amely
  - ✓ feleslegessé teszi a szerelt szerkezetekkel (kiöntött síncsatornás próbatestekkel) végrehajtandó idő- és költséges laboratóriumi mérések nagy részét,
  - ✓ és nem igényli végeselemes számítások elvégzését.

A kutatás során alkalmazott módszerek

Értekezésem egyik pillérét tehát laboratóriumi vizsgálataim eredményei és azok elemző feldolgozása adata. A vizsgálatokat egy gyártó három eltérő rugalmas tulajdonságú, a hazai gyakorlatban is használt kiöntőanyagával végeztem el. A gyártót és a termékek típusát azonban versenysemlegességi okból nem kívánom megnevezni. Értekezésem második felében, laboratóriumi mérési eredményeimet is felhasználva, komplex méretezési módszert fejlesztettem ki a kiöntött síncsatornás felépítmény számára. Méretezés alatt nem a vb. vagy acél csatorna illetve alátámasztó szerkezetének erőtani méretezését értem, hanem a kiindulási követelményeknek (pl. járműteher, elvárt alátámasztási rugalmasság, stb.) megfelelő kiöntési paraméterek (pl. kiöntőanyag fajtájának, az aláöntési vastagságnak, a sínprofilnak) meghatározását. Módszerem nem igényli a végeselemes modellezést, Excel program segítségével végrehajtható. Ugyanakkor egy szerelt szerkezettel, akár már korábban végrehajtott laboratóriumi vizsgálati eredmény segítségével más és más sínprofilokra, alátámasztási vastagságokra megfelelő eredményeket ad, amivel nagyon meggyorsítja és megkönnyíti a különböző kialakítások összehasonlítását, a legmegfelelőbb felépítmény kiválasztását.

2. Az értekezés téziseinek összefoglalása

1. Tézis:

Az értekezésben bemutatott grafikonok alapján a kiöntött síncsatornás szerkezetekkel kapcsolatosan megállapítottam, hogy a sínalátámasztási merevség értéke hatványfüggvény alakban írható fel minden esetben (változó sínrendszer, kiöntőanyag típus).

A hatványfüggvények segítségével két eltérő aláöntési vastagságú próbaszerkezet vizsgálatával már kiterjeszthetővé válik 10-50 milliméter aláöntési vastagság tartományra az U-tényezők [N/mm/mm] értékének vizsgálata. Az általam megállapított kiöntőanyagonként és sínrendszerenként felírható hatványfüggvények általános alakja a következő:

$$U(v) = gv^h$$

ahol „g” és „h” adott kiöntőanyag esetében a sínrendszertől függő tényezők, „v [mm]” a síntalp alatti kiöntőanyag vastagsága.

2. Tézis:

Meghatároztam az úgynevezett sínrendszer átszámítási tényezőket, melyek segítségével egy mért vagy modellezett sínalátámasztási merevség ismeretében megállapíthatjuk a más sínrendszer esetén – az egyéb körülmények, méretek azonossága mellett – érvényes sínalátámasztási merevség értéket.

Továbbá bizonyítottam az úgynevezett anyagátszámítási tényezők létezését, melyek segítségével egy sínalátámasztási merevség ismeretében meghatározhatjuk a más kiöntőanyag esetén (akár más gyártó más kiöntőanyaga esetében is) érvényes sínalátámasztási merevség értéket.

3. Tézis:

Az általam készített számítási eljárást felhasználva olyan méretezési módszert dolgoztam ki, melynek adott sínrendszer és tehermodell esetén egyetlen bemenő paramétere az U sínalátámasztás rugalmassági tényező [N/mm/mm]. A számítási nehézségek csökkentése mellett a módszer másik előnye, hogy ha ismerjük az összefüggést az aláöntési vastagság és az U-tényező [N/mm/mm] között, akkor a két függvény együttes alkalmazásával adott kiöntőanyag, sínrendszer és tehermodell esetén a kiöntési vastagság függvényében számíthatóvá válnak az igénybevételek és a lehajlások.

4. Tézis:

Számítási módszert dolgoztam ki a merevségátmenetek számításához, tervezéséhez. Meghatároztam a merevségi lépcsők hosszát és számát a kiépítési sebesség függvényében. Módszert mutattam be, mely segítségével meghatározható a sínalátámasztási merevség értéke az egyes lépcsőkben. Vizsgálataim során javaslatot tettem arra, hogy ha lehetőség van rá, úgy kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek esetén lineáris aláöntési vastagság változással alakítandó ki az átmeneti szakasz.

5. Tézis:

A kiöntött síncsatornás szerkezetekkel kapcsolatosan megállapítottam, hogy a kialakuló oldalirányú sínmegtámasztási merevség értéke (U_h) [N/mm/mm] hatványfüggvény alakban írható fel a vizsgált kiöntőanyagok esetében. A hatványfüggvények segítségével két eltérő aláöntési vastagságú próbaszerkezet vizsgálatával már kiterjeszthetővé válik 10-50 milliméter síntalp aláöntési vastagság tartományra az U_h-tényezők [N/mm/mm] értékének vizsgálata. Bebizonyítottam továbbá, hogy a vertikális és horizontális merevségek között lineáris kapcsolat áll fenn a tervezhető aláöntési vastagság értékek (20-50 milliméter) mellett.

6. Tézis:

Megállapítottam, hogy a vertikális sínalátámasztási merevség értékekre sem a hevederkamránál elhelyezett PVC cső takarékidomok, sem a hevederkamrába felragasztott beton idomkövek nincsenek jelentős hatással. Rugalmas szalagok beépítése esetén a kialakuló sínalátámasztási merevségek értékét a szalag rugalmas tulajdonsága határozza meg alapvetően. A kialakuló eltolódások és igénybevételek azonos kiöntési paraméter értékek (anyagfajta, aláöntési vastagság, sínrendszer) esetén gyakorlatilag megegyezőnek tekinthetők.

Megállapítottam, hogy az oldalirányú sínszál megtámasztási merevség értékét a takaréküreg PVC cső nem változtatja meg, míg beton idomkövekkel kialakított szerkezetek esetén nagymértékű felkeményedés tapasztalható a referenciaszerkezethez képest. Azokban az esetekben, ahol a vasúti jármű a felépítmény vertikális „lágysága” miatt a megengedettnél nagyobb rugalmas nyombővülés gondot okoz, ott beton idomkövek alkalmazásával a probléma megoldható.

7. Tézis:

Olyan méretezési módszert dolgoztam ki, melynek adott sínrendszer és tehermodell esetén egyetlen bemenő paramétere az U_h horizontális sínmegtámasztási merevség [N/mm/mm]. A számítási nehézségek csökkentése mellett a módszer másik előnye, hogy ha ismerjük az összefüggést az aláöntési vastagság és az U_h-tényező [N/mm/mm] között, akkor a két függvényt együttesen alkalmazva adott kiöntőanyag, sínrendszer és tehermodell esetén a kiöntési vastagság függvényében számíthatóvá válnak az igénybevételek és az eltolódások.

8. Tézis:

A rugalmasan ágyazott síncsatornás felépítmény számára kifejlesztettem egy olyan eljárást, amely Excel program segítségével számítja és grafikusan megjeleníti a sín tengelye mentén a hőmérséklet-változás hatására a sínben ébredő normálerőt és a sínvég elmozdulását, valamint megadja a sín teljes mozgó hosszának nagyságát u_{lim} = 0,01 milliméter határelmozdulás feltétel mellett. Az eljárásban számítási állandókat határoztam meg, melyek segítségével a számítások egyszerű elvégzésére alkalmas összefüggéseket alkottam meg. A dilatációs feladat átalakításával választ adtam a fékezés hatásának számítására is.

9. Tézis:

Kidolgoztam egy olyan számítási módszert, mely segítségével megállapítható a sínszál tényleges semleges hőmérséklete függvényében, amely érték akár a semleges hőmérsékleti zóna feletti is lehet, az a minimális hosszirányú rugóállandó érték, amely esetén téli síntöréskor sem következik be károsodás a kiöntőanyagban. Meghatároztam a lélegző hossz hőmérsékletfüggőségét és a kiöntőanyag sérülésmentességét (belső nyírási illetve tapadási szakadás) biztosító hosszirányú rugóállandó minimumértékét.

10. Tézis:

Méretezési eljárást dolgoztam ki a kiöntött síncsatornás felépítményszerkezetek függőleges síkú stabilitásvizsgálatához. A módszer figyelembe veszi a rugalmas ágyazás hatását és a függőleges síkú fekvéshibát. A módszer újdonsága, hogy a nemzetközi szakirodalomban közölt összefüggéssel szemben figyelembe tudja venni a függőleges síkú fekvéshiba nagyságát is.

3. Összegzés

Értekezésemben komplex méretezési módszert fejlesztettem ki a kiöntött síncsatornás felépítmény számára. Méretezés alatt nem a vb. vagy acél csatorna illetve alátámasztó szerkezetének erőtani méretezését értem, hanem a kiindulási követelményeknek (pl. járműteher, elvárt alátámasztási rugalmasság, stb.) megfelelő kiöntési paraméterek (pl. kiöntőanyag fajtájának, az aláöntési vastagságnak, a sínprofilnak) meghatározását. Módszerem nem igényli a végeselemes modellezést, Excel program segítségével végrehajtható. Ugyanakkor egy szerelt szerkezettel, akár már korábban végrehajtott laboratóriumi vizsgálati eredmény segítségével más és más sínprofilokra, aláöntési vastagságokra megfelelő eredményeket ad, amivel nagyon meggyorsítja és megkönnyíti a különböző kialakítások műszaki összehasonlítását, a legmegfelelőbb felépítmény kiválasztását.

4. További kutatási irányok

A doktori értekezésem készítése során létrehozott végeselemes modellek felhasználásával vizsgálat tárgyává kívánom tenni a kiöntött síncsatornás felépítményekkel kapcsolatos következő kérdéseket:

- Választ kívánok találni, hogy az egyes változatok esetén miképp oszlik meg a síncsatorna falán és talpán, hány százalék adódik át tapadással a csatornafalra.
- Meg kívánom határozni a Von Misses-féle összehasonlító feszültségek alakulását különböző V/H (függőleges / vízszintes) járműteher arányok esetén.
- Vizsgálni kívánom a vasúti híd-vágány interakciót kiöntött síncsatornás vágány figyelembevételével.
- Vizsgálni kívánom az előállított összefüggések alapján, azok átdolgozásával a diszkrét leerősítésű merevlemezes felépítményszerkezeteket.
- Megkívánom határozni a kiöntőanyag károsodási hosszát síntörés esetén (a hosszirányban felszakadt kiöntés hossz), valamint el szeretném végez ni a hegesztési fészkek távolságának optimalizálását.
- Optimalizálni kívánom a felépítményszerkezeteket többkritériumos elemzéssel, melyet gazdálkodási szakmérnöki szakdolgozatom keretében kívánok megvalósítani 2016-ban.

Irodalomjegyzék

A szerző publikációs listája

Major Zoltán
Rugalmas ágyazású kiöntött csatornás vasúti felépítmény (4. rész): Függőleges síkú stabilitás vizsgálata
SÍNEK VILÁGA 58:(2) pp. 38-41. (2016)

Major Zoltán
A Method for the Numerical Modelling of Embedded Rails and Determining Parameters to be Optimized
ACTA TECHNICA JAURINENSIS 9:(1) pp. 16-28. (2016)

Major Zoltán
Longitudinal Behaviour of Embedded Rails
ACTA TECHNICA JAURINENSIS 8:(2) pp. 179-187. (2015)

Major Zoltán
Theoretical examination of the longitudinal behaviour of embedded rails
Slovak Journal of Civil Enginnering, 4/2015 (2015), Pozsony

Major Zoltán
Rugalmas ágyazású kiöntött csatornás vasúti felépítmény (3. rész): Módszer a hosszirányú viselkedés vizsgálatára
***SÍNEK VILÁGA* 57:**(2) *pp. 8-12.* (2015), Budapest

Major Zoltán, Kulcsár Nárcisz
Rugalmas ágyazású kiöntött csatornás vasúti felépítmény (2. rész): Rugalmas sín-csatorna-kiöntések numerikus modellezése
***SÍNEK VILÁGA* 56:**(1) *pp. 22-26.* (2014), Budapest

Major Zoltán
Special problems of interaction between railway track and bridge
***POLLACK PERIODICA : AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES* 8:**(2) *pp. 97-106.* (2013), Budapest

Major Zoltán
Rugalmas ágyazású kiöntött csatornás vasúti felépítmény (1. rész): A síncsatorna kiöntőanyag jellemzőinek meghatározása
***SÍNEK VILÁGA* 55:**(6) *pp. 10-12.* (2013), Budapest

Major Zoltán, Horvát Ferenc
Átmeneti szakasz kialakítása ágyazatragasztással, eltérő függőleges merevségű pályaszakaszok csatlakozásánál
***SÍNEK VILÁGA* 55:**(1) *pp. 6-12.* (2013), Budapest

Major Zoltán
A vasúti híd és vágány kölcsönhatása
***SÍNEK VILÁGA* 54:**(5) *pp. 24-27.* (2012), Budapest

Major Zoltán, Kulcsár Nárcisz
Kiöntött síncsatornás felépítmény kialakításának egyes elméleti kérdései
XV. Közlekedésfejlesztési és beruházási konferencia
helye, ideje: Bükfürdő, 2014. március 18-20.
pp. 33-34.

Major Zoltán
Interaction between railway track and bridge
In: Kovácsné Igazvölgyi Zsuzsanna, Szentpéteri Ibolya (szerk.)
International Transport Conference for Engineers and PhD Students. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.06.19 Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2012. *pp. 72-77.*
(ISBN:978-963-313-068-1)

Hivatkozott irodalmak listája

[5/1]: Johannes Kunz, Mario Studer: Determining the Modulus of Elasticity in Compression via the Shore A Hardness, Kunststoffe international 6/2006, München

[5/2]: DIN EN ISO 868: Kunststoffe und Hartgummi- Bestimmung der Härte mit einem Durometer (Shore- Härte)

[5/3]: Coenraad Esveld: Modern Railway Track – Second Edition, MRT-Productions, 2001, Zaltbommel

[5/4]: Stefan Lehner: Kontinuierlich eingegossene Schiene, Temperaturverteilung-Verbundwirkung_Brücken, 2006, München

[6/1]: Stefan Lehner: Kontinuierlich eingegossene Schiene, Temperaturverteilung-Verbundwirkung_Brücken, 2006, München

[6/2]: Coenrad Esveld: Modern Railway Track – Second Edition, MRT-Productions, pp. 100-106., 2001, Zaltbommel

[6/3]: MSZ 07-3701:1986 Közúti hidak erőtani számítása

[6/4]: Dr. Horvát Ferenc, Dr. Németh György: HAZAI MEGFELELŐSÉGI IGAZOLÁS – 35GPB (35LPG) r. sínekkel kialakított Edilon típusú kiöntött síncsatornás közúti vasúti vágány kísérleti szakaszának építésére, 2004, Győr

[6/5]: Major Zoltán, Horvát Ferenc: Átmeneti szakasz kialakítása ágyazatragasztással, eltérő függőleges merevségű pályaszakaszok csatlakozásánál, SÍNEK VILÁGA 55:(1) pp. 6-12. (2013), Budapest

[6/6]: UIC draft: Vertical elasticity of ballastless track, UIC Project I/03/U/283, 2005, p. 14

[6/7]: Tao Xin, Uday Kumar és Liang Gao: Dynamic design of track transition between two different slab tracks,

http://www.railwaygroup.kth.se/polopoly_fs/1.347143!/Menu/general/column-content/attachment/Tao%20Xin%20et%20al.pdf

[7/1]: Dr. Horváth Attila, Kerkápoly Endre: Földalatti vasutak pályaszerkezetei, Műszaki Könyvkiadó, 1974, Budapest

[8/1]: MSZ EN 1991-2:2006 A tartószerkezeteket érő hatások - Hidak forgalmi terhei

[8/2]: Gy. Kormos: Longitudinal behaviour of rail embedded in elastic material, Periodica Polytechnica, Budapest, 2001

[8/3]: Coenraad Esveld: Modern Railway Track – Second Edition, MRT-Productions, 2001, Zaltbommel, p. 186

[8/4]: Dr. Horvát Ferenc, Dr. Németh György: HAZAI MEGFELELŐSÉGI IGAZOLÁS – 35GPB (35LPG) r. sínekkel kialakított Edilon típusú kiöntött síncsatornás közúti vasúti vágány kísérleti szakaszának építésére, 2004, Győr

[9/1]: Coenraad Esveld: Modern Railway Track – Second Edition, MRT-Productions, 2001, Zaltbommel, p. 419

[9/2]: M. A. Van: Stability of continuous welded rail track, Delft, 1997

[9/3]: Dr. Horváth, Dr. Kerkápoly, Dr. Megyeri: Különleges vasutak, Műszaki Könyvkiadó, 1978, Budapest, pp. 96-124

[9/4]: Dr. Horváth Attila, Kerkápoly Endre: Földalatti vasutak pályaszerkezetei, Műszaki Könyvkiadó, 1974, Budapest, pp. 177-178.

[11/1]: S.T. Yen & Y. H. Lee: Mechanistic analysis of a slab track system and its applications

http://mail.tku.edu.tw/yinghaur/lee/papers/SEMC2007-leemao-s.pdf