

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Út és Vasútépítési Tanszék

TDK dolgozat

**A közösségi közlekedési sávok pályaszerkezeteinek tervezési
problémái**

Szerző:

Balog Péter

MSc infrastruktúra-építőmérnök hallgató

út-és vasútmérnöki szakirány

Konzulensek:

Dr. Liegner Nándor

tanszékvezető, egyetemi docens

BME Út és Vasútépítési Tanszék

Dr. Németh Zoltán Ádám

ügyvezető igazgatói megbízott

Szegedi Közlekedési Kft.

Budapest, 2017. október 27.

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék.....	2
Képjegyzék.....	3
Táblázatjegyzék.....	4
Köszönetnyilvánítás	5
Kivonat	6
Abstract	7
1. Bevezetés.....	8
2. Problémafelvetés	9
3. Problémák feltárása, hibajelenségek felkutatása	12
3.1. Jellemző közúti burkolati hibák összefoglalása	12
3.2. Bejárásokon érintett szegedi és budapesti helyszínek bemutatása	15
3.3. Alkalmazott pályaszerkezeti megoldások	17
3.3.1. Pályaszerkezet típusok csoportosítása.....	17
3.3.2. A vizsgált szakaszok felépítmény rendszereinek bemutatása	18
3.3.2.1. Vályús sínes, bebetonozott talpfás vágány.....	18
3.3.2.2. Előregyártott betonlemezés vagy nagypaneles, tömörsínes, gumiszalag leerősítésű közúti vasúti pályaszerkezet.....	21
3.3.2.3. Kiöntőhabarccsal készített, alaplemezen fekvő, korlátozott szorítóhatású leerősítéssel készülő közúti vasúti pályaszerkezet.....	22
3.3.2.4. CDM QTrack sínágyazási rendszerű pályaszerkezet	25
3.3.2.5. Rugalmas kiöntőanyaggal körbeágyazott sínekkel épülő pályaszerkezet.....	26
3.4. Tapasztalt hibajelenségek.....	29
3.4.1. Budapesti helyszínek.....	29
3.4.2. Szegedi helyszínek	30
3.5. Forgalmi adatok vizsgálata és összegzése.....	37
3.6. Következtetések.....	40
4. Megoldási lehetőségek	43
4.1. Szabályozási eszközök	44

4.2.	Technológiai lehetőségek	47
4.2.1.	Szálerősített betonok alkalmazása	47
4.2.2.	Sínkörülöntéses és kiöntéses technológiák.....	50
4.2.3.	Aszfalt modifikáció	52
4.2.3.1.	Gumibitumen.....	52
4.2.3.2.	Növényi rost alapú modifikáció	53
4.2.4.	További közúti vasúti pályaszerkezeti rendszerek	56
4.2.4.1.	Datwyler RCS Phoenix típusú rendszer	56
4.3.	Méretezési kérdések	60
4.3.1.	Vasúti pályaszerkezetek	60
4.3.2.	Aszfalt burkolatú közúti pályaszerkezetek.....	63
4.3.3.	Beton burkolatú közúti pályaszerkezetek.....	65
4.3.4.	Megállapítások	68
5.	Költségek.....	71
5.1.	Egyes pályaszerkezet típusok építési költségei.....	71
5.2.	Garanciális munkák felmerülő költségei.....	73
6.	Összefoglalás.....	77
	Hivatkozásjegyzék.....	78
	Irodalomjegyzék	78

Ábrajegyzék

1. ábra:	Szeged felépítményi térképe (vizsgált szakaszok) (alaptérkép: Bing Maps)	15
2. ábra:	Budapest felépítményi térképe (vizsgált szakaszok) (alaptérkép: Bing Maps).....	16
3. ábra:	vályússínes, bebetonozott talpfás vágány keresztmetszete [4].....	19
4. ábra:	előregyártott betonlemezés tömsínes közúti vasúti pályaszerkezet [4].....	21
5. ábra:	Ortec Rafs rendszerű pályaszerkezet keresztmetszete két leerősítés közötti szakaszon, nyomtávtartó rúddal szerelve [4].....	23
6. ábra:	vályússínes, rugalmas alátámasztású folyamatos sínágyazású (Rafs) leerősítés [4]...	23
7. ábra:	sínköpenyek és sínalpszalagok Ri59 rendszerű sínhez [3].....	25
8. ábra:	vályússínes, sínkörülöntéses leerősítés részletrajza [4].....	26

9. ábra: a korábbi Bartók Béla úti Gantry Rafs vágány mintakeresztszelvénye [5].....	30
10. ábra: az Ortec vágány Densiphalt kopóréteggel és szálerősített betonburkolatú kialakítással [3]	35
11. ábra: közúti terhek a sínleerősítés környezetében	41
12. ábra: problémák és a megoldási lehetőségeket összefoglaló ágrajz	43
13. ábra: növényi rost alapú pelletek modifikált aszfalt keverékekhez [12]	54
14. ábra: aszfalt burkolatú vágány kialakítása a vasbeton pályalemez alkalmazásával [7]	56
15. ábra: sínszálak ágyazása a gumiprofilokkal [7].....	57
16. ábra: aszfalt burkolatú pálya kialakítása [7]	57
17. ábra: RCS rendszer közúti igénybevételei [7]	58
18. ábra: a Wöhler-féle fáradási egyenes [9].....	63

Képjegyzék

1. kép: villamos, trolibusz és autóbusz együttállása Szegeden, a Dugonics téren	8
2. kép: a buszok abroncsainak általános pozíciója a közúti vasúti pályákon	10
3. kép: közúti vasúti pálya Belgrádban (2017)	11
4. kép: gyakorlatilag hibátlan burkolatú pályaszerkezet Graz-ban.....	11
5. kép: bebetonozott talpfás kitérők építése Szegeden, a Dugonics téren (2002) [3].....	20
6. kép: bebetonozott talpfás vágány építése Budafok kocsiszínben, 2017. március 17-én	21
7. kép: Ortec Rafs pályaszerkezet állapota Szegeden, 2014. július 1-jén [3].....	24
8. kép: sínkörülöntéses, nagyelemes útátjáró Szegeden	27
9. kép: nagypaneles felépítményi rendszer a Böszörményi úton.....	29
10. kép: kitöltő anyag teljesen hiányzik, hálós repedések indultak el az aszfaltban	29
11. kép: a sínszál-burkolat kapcsolatból kiinduló burkolati hibák	30
12. kép: keresztezési csúcsok közelében bekövetkezett beton tönkremenetel [3]	31
13. kép: csatornázott keresztező nehéztehergépjármű forgalom hatása a kopórétegre [3]	31
14. kép: hálós repedésekből kialakult tönkremenetel a Damjanich utcai megálló előtt [3]	32
15. kép: burkolati hibák a Párizsi körút – Kossuth Lajos sugárút csomópontban [3].....	32
16. kép: folyamatos a repedésjavítás a bazaltbeton kopórétegen	33
17. kép: bazaltbeton burkolati hibák a Glattfelder gyula téren.....	33
18. kép: nyomvályúsodás és a sínszál melletti károsodások az Anna-kútin	34
19. kép: Ortec Rafs pályaszerkezet károsodásai.....	35
20. kép: Densiphalt burkolat állapota pár hónappal a beépítés után [3].....	36
21. kép: a Dugonics téri megállóhely burkolatának állapota 2017-ben	36

22. kép: fugaanyag merevedése és kitöredezése	37
23. kép: sérülésmentes pályalemez CDM felépítményi rendszerben	41
24. kép: hullámos sínkopás megjelenése Szegeden, a Damjanich utcai megállóhelyen.....	42
25. kép: átadott pályaszerkezet a Bartók Béla úton [6]	47
26. kép: kopóréteg kiöntése a Bartók Béla úton [6]	48
27. kép: pályalemez készítése a Bartók Béla úton [6]	49
28. kép: aszfalt kopóréteg, alatta szálerősített pályalemez [6]	49
29. kép: Phoenix sínrendszer, beton kamrakitöltő elem és rugalmas körülöntés	50
30. kép: Vignol sín és kiöntéses leerősítés, kiöntőanyag megtakarításra alkalmas PVC csövekkel	51
31. kép: közúti vasúti pályaszerkezet aszfalt burkolattal (Bromma, Svédország) [12].....	55

Táblázatjegyzék

1. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Tisza Lajos körúton	37
2. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Kossuth Lajos sugárúton	38
3. táblázat: egyirányban leközlekedő autóbuszok összesítése a Múzeum körúton	38
4. táblázat egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése Belgrádban, a Bulevar oslobodanje-n.....	39
5. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Petergasse-n, Graz-ban	39
6. táblázat: alkalmazott burkolatok összefoglalása.....	40
7. táblázat: 266/2013. (VII. 11.) Kormány rendelet vonatkozó részének összefoglalása [11].	46
8. táblázat: polimerek osztályozása	53
9. táblázat: a Tisza Lajos körúti RAFS vágány építésének átlagköltségei [3]	71
10. táblázat: felépítményi szerkezet típusok egységárai vágányméterre vetítve [3]	72
11. táblázat: vágányburkolat bontással kapcsolatos egységárak [3].....	73
12. táblázat: garanciális munkák során alkalmazott anyagok átlagos egységárai [3]	74
13. táblázat: garanciális munkák ideiglenes forgalomtechnika és szolgáltatás és pótlási költségei [3]	76

Köszönetnyilvánítás

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karának Út és Vasútépítési Tanszékének részéről **Dr. Liegner Nándor** tanszékvezető támogatta munkámat szakmai meglátásaival, a Tanszéken fellelhető és a témához tartozó szakirodalom és szakmai ismeretanyag biztosításával.

A témaválasztásban, a kiindulási adatok biztosításában, valamint a munka során felmerülő kérdések megválaszolásában segítségemre volt **Dr. Németh Zoltán Ádám**, a Szegedi Közlekedési Kft. ügyvezetői megbízottja, aki többek között biztosította hozzáférésemet a szegedi közúti vasúti hálózathoz, annak legfontosabb adataihoz, így a szegedi problémák megoldását előre vetítő munka születhetett meg.

Köszönettel tartozom a **Szegedi Közlekedési Kft.**-nek és a **BKV Zrt.**-nek, mert munkámhoz biztosították a vizsgált közúti vasúti pályaszakaszok rekonstrukciójának tapasztalatait, a hibajelenségekről minden helyszínen fényképeket biztosítottak, melyek segítségével hatékonyabban tudtam feldolgozni a témakört.

A dolgozat elkészítésében segítségemre voltak:

- Vörös Zoltán osztályvezető, Utiber Közúti Beruházó Kft.;
- Tárczy László ügyvezető, Reformút Kft.;
- Fűr-Kovács Adrienn ügyvezető, Avers Fiber Kft.;
- Dr. Geiger András termékfejlesztő szakértő, MOL NyRt.;
- Gyerkó József villamos infrastruktúra főmérnök, BKV Zrt.;
- Lukács Gergő, Vincze Tibor, Körtvélyesi Csaba, Trenecon Tanácsadó és Tervező Kft.;
- Bernd Abele és Frank Hauber product manager, JRS GmbH.;
- Mihályi István műszaki tanácsadó, Sika Hungária Kft.;
- Jovana Cajkovic építőmérnök hallgató, Belgrádi Műszaki Egyetem.

Kivonat

A közösségi közlekedési sávok pályaszerkezeteinek tervezési problémái

Nagyvárosaink forgalma mind az egyéni, mind a közösségi közlekedésben az elmúlt években drasztikusan, folyamatosan növekszik, mely sokszor az emberek számára kellemetlen forgalmi dugókhöz vezet. A kötöttpályás közlekedés számára biztosított az elkülönített pálya, így azok kevésbé érzékelik a közúti forgalmi dugókat, azonban az autóbuszok és a trolibuszok, mivel közös felületet használnak a személygépjárművekkel, sokkal inkább ki vannak szolgáltatva a közúti forgalmi helyzeteknek. Az autóbuszok és trolibuszok számára a burkolt közúti vasúti pályák lehetőséget biztosítanak a védett eljutásra a megállóhelyek között, továbbá a városokban oly fontos területhasználat szempontjából is kedvezőbbek. A *közösségi közlekedési sávok*, amikor egy felületen közlekednek villamosok, autóbuszok és trolibuszok, egy újfajta szemlélet terjedését jelentik a közlekedésben.

Az közúti vasúti pályák üzembe helyezését követően, rövid időn belül, kezdtek el jelentkezni a közutakon is jellemző burkolati hibák, valószínűsíthetően a közösségi közlekedési sávokban üzemszerűen közlekedő autóbuszoknak köszönhetően.

A hibák megjelenése óta folyamatosak a garanciális munkák a vizsgált közúti vasúti pályákon, ezeket a javításokat munkanapokon, tanév közben a forgalom nagysága miatt nem lehet elvégezni, így szinte minden nyáron volt munkavégzés Szegeden az átadások óta. Üzemeltetői és városi szempontokat figyelembe véve ez nem túl kényelmes, hiszen minden egyes munkavégzés forgalmi terelést, időszakos közlekedési változásokat okoz, melyeknek többlet költségei vannak üzemeltetői és felhasználói oldalon is.

Dolgozatom célja, hogy összegyűjtssem azokat a pályaszerkezet típusokat, melyeknél megjelentek ezek a hibák, továbbá rendszerezem a burkolati problémákat. A közúti és vasúti pályaszerkezetek méretezését áttekintve, továbbá új technológiákat bemutatva szeretnék iránymutatást adni, hogy a jövőben ilyen forgalmi esetekben hogyan lehet hosszú élettartamú pályaszerkezeteket építeni.

Kulcsszavak: közösségi közlekedés, közös használat, burkolatok, közúti vasúti pályaszerkezetek

Abstract

Superstructure design problems in public transportation lanes

Traffic volumes have been simultaneously increasing in both individual and public transportation, which cause troublesome traffic jams in our cities. Separated track is provided for track-based transportation systems, so they don't have conflict with road traffic, but the buses and trolley-buses depend on the traffic circumstances. Covert tramway tracks provide protected routes between the stops for buses, moreover, it is an important point of view for sustainable land uses. The public transportation lanes, where the same surface is used by trams, buses and trolley-buses, mean the spread of a new view in transportation and urban design.

In a short time period after installation the new tramway tracks, pavement structure problems appeared possibly due to bus and trolley-bus use.

Since the appearance of the pavement structural problems, warranty works are often on these tracks. These works cannot be fulfilled on week and school days, so every summer they have to work on. From the operator's point of view, these warranty works are not convenient because every work needs traffic distraction and temporary traffic changes, which causes high costs on both operator and user sides.

The aim of this dissertation is to collect the tramway superstructures where these pavement problems appeared and to systematize them all. After reviewing the tramway track design and looking for new technologies, I would like to give new guideline to design the future superstructures in this kind of traffic situations.

Keywords: public transportation, common-used lanes, pavements, tramway tracks

1. Bevezetés

A közlekedési módválasztás során az egyik legfontosabb szempont az utazással töltött idő, mely a közösségi közlekedés esetében az előnyben részesítéssel és az átszállási idő lerövidítésével, annak minőségének javításával csökkenthető. Néhány éve kezdtek el megjelenni Magyarországon a közösségi közlekedési sávok, melyek előnyei rövid távon érezhetőek közlekedési rendszer szinten, azonban az infrastruktúra kialakításánál, különösen a pályaszerkezetek esetében folyamatos problémákat okoznak az üzemeltetőknek.

Szegeden a 2008 és 2011 között megvalósított nagyprojekt részeként közös közösségi közlekedési sávokat alakítottak a Kossuth Lajos sugárút Rókusi krt. és Rókusi templom közötti szakaszán, az 1. és 2. számú közúti vasúti viszonylat pályáján. Hasonló módon került kialakításra ilyen közlekedési rend a Tisza Lajos krt. Anna-kút és Glattfelder Gyula tér közötti szakaszán, valamint ugyanígy a Tisza Lajos krt. Dugonics tér és Anna-kút közötti szakaszán. Budapesten is alkalmaztak hasonló közösségi közlekedési sávokat, ilyen forgalmi rend került kialakításra közúti vasúti pályán a Múzeum körúton, valamint a Böszörményi út egy szakaszán is egy felületen közlekednek az autóbuszok és a villamosok, de hasonló forgalmi rend áll fenn a Krisztina körúton, Bartók Béla úton és az Ady Endre úton is.



1. kép: villamos, trolibusz és autóbusz együttállása Szegeden, a Dugonics téren

A közös közösségi közlekedési sávok előnyei:

- az autóbuszok és a trolibuszok is élvezik a közúti vasút elkülönített pályájának előnyeit,
- közös megálló (könnyebb átszállás, sűrűbb követés, mely főként a belvárosi szakaszokon előnyös).

A közösségi közlekedési sávok kialakításánál a következő szempontok mérlegelendők:

- az autóbusz vagy trolibusz és esetenként a személygépjármű forgalom aránya,

- az autóbusz és közúti vasúti üzem ne zavartassa egymást,
- a rá-és lehajtás megoldása, csomóponti áthaladás,
- egységes forgalmi rend (rövid szakaszra nem célszerű),
- nagy forgalmú, kedvező fekvésű átszálló megállóhelyek kialakítása.

A közös használatú közlekedési felületek kialakításának műszaki és egyéb feltételei a következők:

- gondoskodni kell a szélesebb keresztmetszeti kialakításról (6,20-7,00 m),
- hosszú, minél inkább szélesebb (utascsere) megállóperonok (akár három jármű fogadására alkalmas),
- a szegélykő kialakítása alkalmas legyen a buszok fogadásához (lekerekített),
- általánosságban erősebb burkolat beépítésére, gyakori sín-fuga karbantartás vagy fugamentes kialakítás.

Dolgozatom témája ez utóbbi pontra épül.

2. Problémafelvetés

A szegedi nagyprojekt során átépített közúti vasúti pályák üzembe helyezése után pár hónappal, tehát rövid időn belül kezdtek el jelentkezni a közutakon is jellemző burkolati hibák, valószínűsíthetően a közösségi közlekedési sávokban üzemszerűen közlekedő autóbuszoknak köszönhetően. Budapesten is több olyan pályaszakasz van, ahol a közúti vasúti közlekedés mellett valamilyen közúti forgalom is bonyolódik, így itt is megjelentek a szegedihez hasonló problémák. A burkolati hibák a bazaltbeton pályaszerkezetek esetében repedéseként jelentkeztek, melyeket az üzemeltető repedés kezelésekkel próbált karbantartani, azonban a repedések minden esetben tovább fejlődtek. Az aszfalt kopórétegekkel épített pályaszerkezetek esetében a legjellemzőbb hibakép, hogy az aszfalt elválik a bitumen kiöntéstől, illetve a sínszáltól, így ezekbe a hézagokba a víz befolyva okoz problémákat, további repedéseket, kátyúsodást. A megállóhelyeken megálló autóbuszok és trolibuszok beállításnak megfigyelése során tapasztaltam, hogy a közúti járművek tengelyhossza (az abroncsokat is beleértve) akkora, hogy a jármű abroncsai a sínszál külső felétől 20-30 cm szélességű burkolatsávot terhelnek leginkább, továbbá elmondható, hogy a közúti vasúti járművek által keltett rezgések is ebben a 20-30 cm széles sávban veszik igénybe a legjobban az itt található egyes pályaszerkezeti rétegeket. A jelenséget a 2. kép mutatja be.



2. kép: a buszok abroncsainak általános pozíciója a közúti vasúti pályákon

A tervezők a tervezés során maradéktalanul betartották a magyar előírások rendszerét: a felépítményi rendszerek kiválasztásánál katalógus szerűen tudtak választani, ezt a BKV Sárga könyv által javasolt pályaszerkezetek alapján tudták megtenni (a szegedi közúti vasúti üzemnek saját műszaki előírás rendszere nincs). A felépítményi rendszereket Magyarországon akkor lehet használni, ha azok rendelkeznek érvényes megfelelőség vizsgálati dokumentumokkal. Ezek a vizsgálatok laboratóriumi munkarészeket és számításon alapuló igazolásokat is tartalmaznak, melyek alapján meghatározhatók az egyes rendszerek jellemzői és beépítési kritériumai. A beton alaplemezeket, melyek minden pályaszerkezeti megoldás alapvető szerkezeti eleme, a Magyar Szabványok és az Eurocode alapján méretezik.

Külföldön is rengeteg példa van arra, hogy a közúti közösségi közlekedés járművei szakaszonként, többnyire belvárosi helyeken (ahol nem áll rendelkezésre elegendő közlekedési felület), a közúti vasúti pályát használják üzemszerűen.

Az 3. képen Szerbia fővárosában, Belgrádban található közúti vasúti pályaszerkezet burkolata látható. A Bulevar oslobodanje ezen a szakaszán a következő járatok közlekednek üzemszerűen:

- autóbuszok: 9A1, 30R, 31, 36, 39R, 42R, 47R, 59R, 78;
- villamosok: 9, 10, 14.

Érdekessége a belgrádi közúti vasúti üzemnek, hogy keskeny nyomtávú (1000 mm), tehát a nagy-és kistengely közel hasonló szélességűek, így a tömörítési-hengerlési lehetőségek kedvezőbbek lehetnek. A szakaszt 2005-ben építették át, a 3. kép alapján jól látható, hogy 8. év alatt ment tönkre a burkolat. Irány-és fekszing hibák a közúti vasúti pályaszerkezetben nincsenek.



3. kép: közúti vasúti pálya Belgrádban (2017)

Az ausztriai Graz városában is találhatóak olyan, közúti vasúti pályaszakaszok, ahol az üzemszerű villamos forgalom mellett autóbuszok is használják a pályát, emellett közúti forgalom is zajlik. A Petergasse Moserhofgasse és Eisteichgasse közötti szakaszán 2016 novemberében jártam, ezt a szakaszt a személygépjárművek mellett 2 közúti vasúti viszonylat (6,26) és 8 autóbusz viszonylat (430, 440, S10, 63, 68, 71, 72, 73U, 76U) is használja. A pályaszerkezet és a burkolat állapotát a 4. kép mutatja be.



4. kép: gyakorlatilag hibátlan burkolatú pályaszerkezet Graz-ban

Az előbbieken ismertetett üzemi sajátosságok alapján elmondható, hogy kapcsolat lehet a közúti vasúti pályák burkolatainak fokozott leromlása és a közúti forgalom között. A dolgozat feladata tehát, hogy a szegedi és budapesti példákból, tapasztalatokból elindulva összegyűjtse a jellemző, közúti vasúti pályaszerkezetek felső burkolatain jelentkező hibákat, áttekintse a közúti aszfalt és beton pályaszerkezetek, valamint a vasúti és közúti vasúti pályaszerkezeti méretezési eljárásait, ezek alapján felderítse azok hiányosságait a témával kapcsolatban. Ezek ismeretében kell összegyűjteni azokat a szabályozási és technológiai megoldásokat, melyekkel tovább kell vizsgálni a közúti vasúti pályaszerkezetek burkolatainak kialakítási és méretezési kérdéseit.

3. Problémák feltárása, hibajelenségek felkutatása

3.1. Jellemző közúti burkolati hibák összefoglalása

A közúti pályaszerkezetekre (vagy a közúti járművek által használt más egyéb pályaszerkezetekre) különböző tényezők vannak hatással folyamatosan, melyek a burkolatok teljesítőképességét sokszínűen befolyásolják. A tényezők egymásra is hatással lehetnek, így egy-egy negatív jelenség jelenléte más tényezők hatását is fokozhatja. Ezen tényezők egy csoportosítása a következő lehet [1]:

- környezeti tényezők: csapadékok, sugárzás, hőmérséklet-változás, fagyási-olvasási ciklusok;
- pályaszerkezet: típusa, vastagsága, tulajdonságai, variációk, aléptípusi jellemzők;
- kivitelezés: ütemezés, módszerek, az építés minősége;
- fenntartás: fenntartási eljárások, fenntartás ütemezése, módszerek és a munka minősége;
- forgalmi tényezők: tengelyterhelések, gumibroncsok típusa és nyomása, tengelytávolság, periodicitás, sebességek.

Az egyes tényezők egymásra hatásának következtében a burkolat minősége vagy szolgáltatási szintje folyamatosan romlik, csökkenésének mértéke attól függ, hogy az egyes fő tényezők hogyan és milyen arányban hatnak egymásra a tervezési élettartam egyes szakaszaiban.

A burkolaton jelentkező hibákat az Országos Közutak Kezelői Szabályzata két fokozatba sorolja be (ez a dokumentum egyébként rendelkezik az utak útkategória és forgalomnagyság szerinti szolgáltatási osztályba sorolásáról, mely alapján megszabja az üzemeltetési és karbantartási feladatok elvégzésének gyakoriságát és határidejét):

- 1. fokozat: ezek a burkolat folyamatos leromlásából erednek, a természetes elhasználódás következtében jelentkező nagyobb felületű hibák. Pontos diagnosztika esetén előre becsülhetők. A forgalombiztonságra közvetlenül nincsenek negatív hatással;
- 2. fokozat: a burkolaton rövid időn belül kialakuló, utazási komfortot rontó, balesetveszélyes, többnyire lokális hibák, a megszokott közút állapothoz képest hirtelen változást jelentenek.

A közös közösségi közlekedési sávokban található közúti vasúti pályaszerkezetek jellemző hibajelenségei a közúti burkolatok esetében felfedezhető romlási képekhez hasonlíthatóak, így a csoportosításuk is eszerint célszerű. A közutakon jelentkező burkolati hibák a következőképpen gyűjthetők össze és jellemezhetők [1]:

Egyenetlen pályafelület: hullámosság, egyenetlenség

A burkolat szintjének egyenetlen változása (süllyedés-kiemelkedés) hossz- és/vagy keresztirányban, nem kifejezetten keréknyomban.

Keréknyomvályú: vályúképződés, nyomvályú, kis sugarú keréknyom, nagy sugarú keréknyom

A nehézgépjárművek ismételt áthaladása következtében keletkező keresztirányú alakváltozás, plasztikus deformáció. Kifejezetten a keréknyomokban észlelhető, oka lehet kopás is. Az útburkolat keresztirányú egyenetlensége a valódi keresztirányú útprofil eltérése az elméleti keresztirányú útprofiltól. A sáv leginkább igénybevett részén, a keréknyomok vonalában kialakuló tartós deformáció.

Kátyú:

Az utak használata során a forgalmi igénybevétel és a környezeti hatások nyomán létrejött, a szerkezet bomlásával járó károsodás, egy vagy több pályaszerkezeti réteg kifestetű (legfeljebb 20 m²) folytonossági hiánya, ami az út használatát nehezíti, a balesetveszélyt növeli, a közlekedési eszközöket fokozottan igénybe veszi, az utazás kényelmét rontja.

Repedések (törések):

Útpálya folytonosságának megszakadása a részek elmozdulásával vagy a nélkül.

- Hajszálrepedés (hosszanti fáradásos repedés):
a járművek kerekeinek nyomában kialakuló, az úttengellyel közel párhuzamos vékony, finom repedések, amelyek pókhálószerű repedezettséggé alakulnak át. Gyártási hiba esetén közvetlenül pókhálószerűen alakul ki.
- Mozaikos repedések (hálós repedés, alligátorbőr repedés):
megközelítően mozaikszerű vagy hálószerű repedések együttese, általában teherbírásai elégtelenség miatt.
- Burkolat szélének letörése:
a pályaszerkezet széle teherbírásai, megtámasztási hiányosság miatt megsüllyed és az aszfaltburkolat hosszirányban megreped.
- Keresztirányú repedés (reflexiós repedés):
az úttengelyre közel merőlegesen, egymástól meghatározott távolságban kialakuló, ismétlődő repedések fél-merev pályaszerkezetben.
- Szabálytalan irányú repedés (átrepedés, vadrepedés):
alaprétegben keletkező szabálytalan repedések átütése a burkolaton a fél-merev pályaszerkezetben.

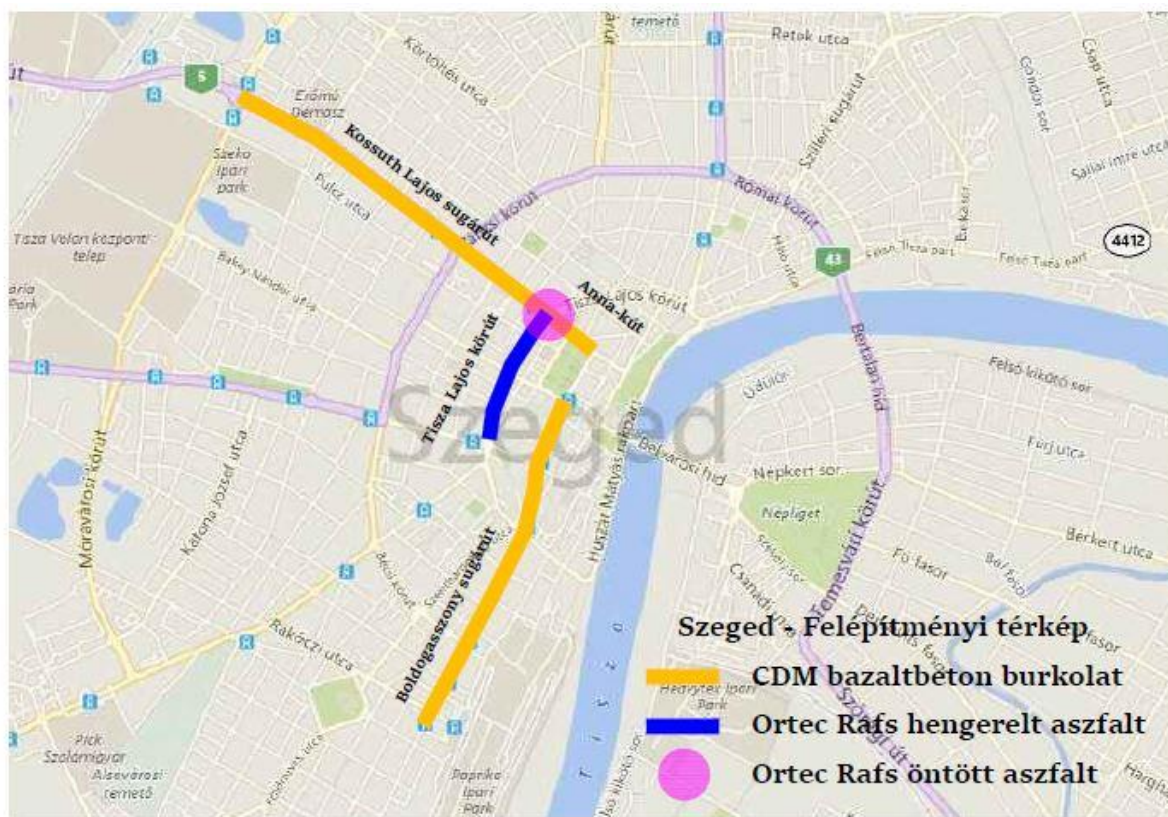
- Összedolgozási hiba (munkahézag hibája, varrathiba, slusszhiba):
hossz- vagy keresztirányban egyenes vonalú repedés, amely két aszfaltburkolati sáv összedolgozásánál vagy aszfaltterítés újrakezdésénél jelentkezik, főleg hosszirányban.

Egyéb hibák:

- Bomlás:
a kopóréteg vagy a burkolat anyagának szétesése.
- Hámlás (tányérosodás):
kis területen létrejövő, csak a kopórétegben jelentkező üregerős folytonossági hiány.
- Leválás:
a kopóréteg lemezszerű töredezése.
- Felületi hiba:
csak a burkolat felületének hibája a burkolat anyagának megbomlása nélkül.
- Kötőanyag feldúsulás a felületen (izzadás, zsírosodás, fényesedés):
többé-kevésbé körülhatárolt szakaszon, foltszerűen, sávyszerűen vagy az egész burkolatfelületre felnyomuló aszfalthabarc, esetleg csak bitumen.
- Nyitott felület (szivacsos felület):
az útpályán foltokban, sávyszerűen vagy az egész felületen jelentkező, az általánostól eltérő, annál hézagosabb felület.
- Érdesség lecsökkenése (kisimulás):
az aszfalt kopóréteg elveszíti makro- és mikroérdességét.
- Gyűrődés (hullámosodás):
a burkolat hosszirányú kiemelkedése, eredeti szintjéből való kidomborodása. Általában a pálya egyéb deformációjával kísért jelenség.
- Pályaszerkezet süllyedése:
körülhatárolhatóan, egy meghatározott helyen a pályafelület süllyedése általaj elázás, közműmeghibásodás, háttöltés-süppedés miatt.
- Alakváltozás (deformáció, torzulás):
az egyenletes burkolatfelület eltorzulása, alakváltozás nyírás, összenyomódás hatására.

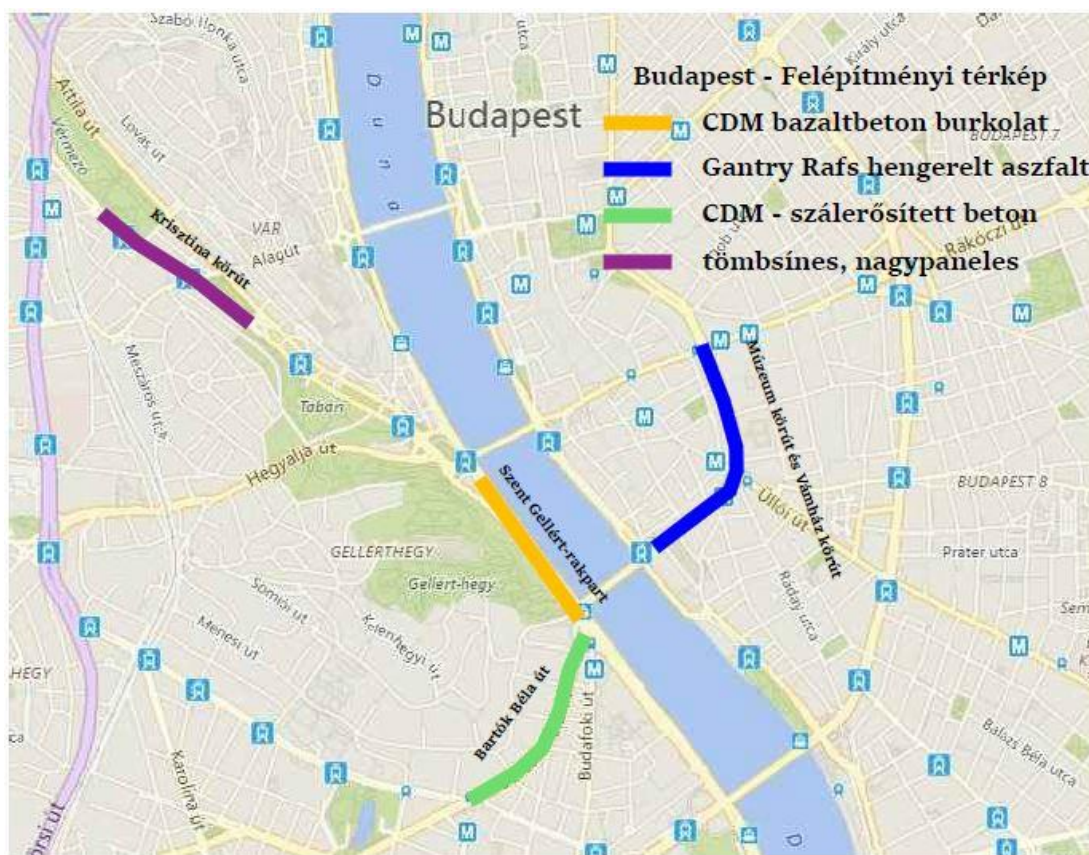
3.2. Bejárásokon érintett szegedi és budapesti helyszínek bemutatása

Szegeden a dolgozat készítése előtt kétszer tartottam bejárást, 2016. augusztus 26-án és 2017. március 15-én, mely alapján felmértem és térképen rendszereztem a felépítmény típusokat. A Kossuth Lajos sugárúton (átadva: 2010. május) az 1. és 2. számú közúti vasúti viszonylatok közlekednek, továbbá több helyi autóbusz is használja a közúti vasúti pályát. A sugárút Szeged ütőerének tekinthető, sokáig a Románia és Szerbia felé haladó nehéztehergépjármű forgalom is ezen a szakaszon közlekedett le. Az átépítés során CDM bazaltbeton burkolatú közúti vasúti pályát kapott a sugárút. A Tisza Lajos krt. Glattfelder Gyula tér (átadva: 2011. augusztus) felé eső szakaszán is gumiköpenyes sínágyazási rendszerű közúti vasúti pályaszerkezet épült felső bazaltbeton kopóréteggel, ez a 3. és 4. számú közúti vasúti viszonylatok közös szakaszának tekinthető. A Tisza Lajos körút további szakaszain aszfalt kopó-és kötőréteggel kialakított rugalmas alátámasztású, folyamatos sínágyazású Gantry RAFS pályaszerkezet található a közösségi közlekedési sávban, mely 2004-ben épült (nem a Nagyprojekt részeként). Az Anna-kúton 2008 júliusa és októbere között zajlottak átépítések, hasonló módon a Tisza Lajos körúthoz, itt is Gantry Rafs pályaszerkezet épült, azonban kopó-és kötőréteggként öntött aszfaltot használtak. A szegedi felépítményi térképet az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Szeged felépítményi térképe (vizsgált szakaszok) (alaptérkép: Bing Maps)

Budapesten négy olyan közúti vasúti szakaszt jártam be, amely vegyes használatú, tehát van közúti forgalom a közúti vasúti pályán. A budapesti felépítményi térképet a 2. ábra mutatja be.



2. ábra: Budapest felépítményi térképe (vizsgált szakaszok) (alaptérkép: Bing Maps)

Budapesten Gantry Rafs típusú felépítmény található a Múzeum körúton, illetve annak folytatásában a Szabadság híd felé, a Vámház körúton (megemlítendő, hogy a Nagykörúton is Gantry Rafs épült, azóta több helyen már kibontották). Itt közlekednek a 47. és a 48. jelzésű közúti vasúti viszonylatok, melyeket hétfőigente kiegészít a 48. jelzésű, illetve az Astoriánál megállnak a 9, 15 és 115 jelzésű autóbuszok.

A Bartók Béla úton is eredetileg Gantry Rafs épült még 2002-ben, azonban néhány év alatt ez a felépítmény tönkrement, így 2016 nyarán CDM gumiköpenyes és szálerősített bazaltbeton burkolatú felépítmény került kialakításra. Itt közlekednek a 19., 41., 47., 49. és 56. jelzésű közúti vasúti viszonylatok, továbbá később tervezik az autóbusz forgalom áthelyezését a közúti vasúti pályára. A Szent Gellért-rakparton a szegedihez hasonló CDM bazaltbeton burkolatú felépítmény található, melyen a 19., 41. és 56. jelzésű közúti vasúti viszonylatok közlekednek, de itt közlekedik a 133E és 7 jelzésű autóbusz.

A Böszörményi úton tömbsínes, nagypaneles felépítmény található, az 59. jelzésű villamos mellett a 102 és 105. autóbuszok járnak itt. A Krisztina körúton és az Ady Endre úton nemrég építették újjá a tömbsínes, nagypaneles felépítményt, itt csak közúti forgalom van.

3.3. Alkalmazott pályaszerkezeti megoldások

3.3.1. Pályaszerkezet típusok csoportosítása

A közúti vasúti pályaszerkezetek rendszerezése korábban a sínszálak rugalmas ágyazásának mértéke szerint történt, ez a klasszikus felosztás. A különböző műanyagok, kiöntőanyagok, műgyanták, gumielemekek, szorítórugók elterjedésével és alkalmazásával a merev alátámasztások ellenére a sínszálak a zúzottkő ágyazattal egyenértékű rugalmasságot kapnak.

A **klasszikus felosztási rendszerben** a vasúti pálya alátámasztásának rugalmassága függvényében megkülönböztethető rugalmas-, félmerev-, és merev pályaszerkezet.

– rugalmas alátámasztású rendszerek:

A sínszálakat közvetlenül helyezték el a zúzottkő ágyazatra, azokat bazalt nagykockakövek támasztották meg, melyeket homokos kavicsal hézagkiöntött folyamkavicsra helyeztek el közvetlen. Később a síneket faaljakra erősítették le, így fektették a zúzottkő ágyazatra.

Példák:

- zúzottkő ágyazatra közvetlenül fektetett, Phönix sínrel épített burkolt vágány;
- zúzottkő ágyazatra fektetett, vályús hevederes sín sínszékkal, burkolva;
- zúzottkő ágyazata helyezett Phönix sínes vágány keresztaljakkal, burkolva;
- vezetősínrel és keresztaljjal szerelt burkolt vágány zúzottkő ágyazaton;
- Haarmann-sín keresztaljakra szerelve, burkolva, zúzottkő ágyazaton;
- Phönix sínes burkolt vágány zúzottkő hosszgerendán.

– félmerev alátámasztású rendszerek:

A sínszálak rögzítését talpfatuskókon oldották meg, ezeket beton hosszgerendákra fektették. A teherbírást lehetett növelni a rugalmas rendszerekhez képest, azonban a rugalmasság csökkent, így a hegesztéseknél gyakori volt a tönkremenetel.

Példák:

- Phönix sínes vágány talpfatuskón, beton hosszgerendával;
- vezetősínes vágány talpfatuskón, beton hosszgerendával;
- Phönix sínes vágány betontuskókkal, bitumen lehorgonyzással és beton hosszgerendával.

– merev alátámasztású szerkezetek:

A vágányt betonlemezekre fektették, rugalmas közbetétek elhelyezésével. Erre a rendszerre jellemző volt a magas zaj, hiányoztak a rugalmassági és rezgéselnyelő elemek.

Példák:

- beton alaplemezen betonvasakkal lehorgonyzott Phónix sínes vágányok;
- bebetonozott talpfás vágányok.

A klasszikus felosztási rendszer helyett manapság már az *egyesített szempontrendszer szerinti felosztást* szokás alkalmazni, mivel a merev pályaszerkezetek után új anyagok használata, ezzel kvázi rugalmasnak tekinthető rendszerek jelentek meg a közúti vasútépítésben.

3.3.2. A vizsgált szakaszok felépítmény rendszereinek bemutatása

Budapesten és Szegeden a 3.2. pontban bemutatott helyszíneken a következő felépítmény szerkezet típusok kerültek alkalmazásra:

–vályús sínes, bebetonozott talpfás vágány;

–rugalmas alátámasztású, folyamatos sínágyazású (RAFS) pályaszerkezetek:

- előregyártott betonlemezes vagy nagypaneles, tömbsínes, gumiszalag leerősítésű közúti vasúti pályaszerkezet;
- kiöntőhabarccsal készített, alaplemezen fekvő, korlátozott szorítóhatású leerősítéssel készülő közúti vasúti pályaszerkezet (pl.: ORTEC RAFS, EDILON SEDRA Q-MED);
- CDM QTrack sínágyazási rendszerű pályaszerkezet;
- rugalmas kiöntőanyaggal (EDILON Corkelast / SIKA Icosit KC) körbeágyazott, sínleerősítéssel épülő pályaszerkezet;

A kiválasztott helyszíneken, ezen pályaszerkezet típusokon üzemszerű közúti forgalom vagy autóbuszos közösségi közlekedés is zajlik.

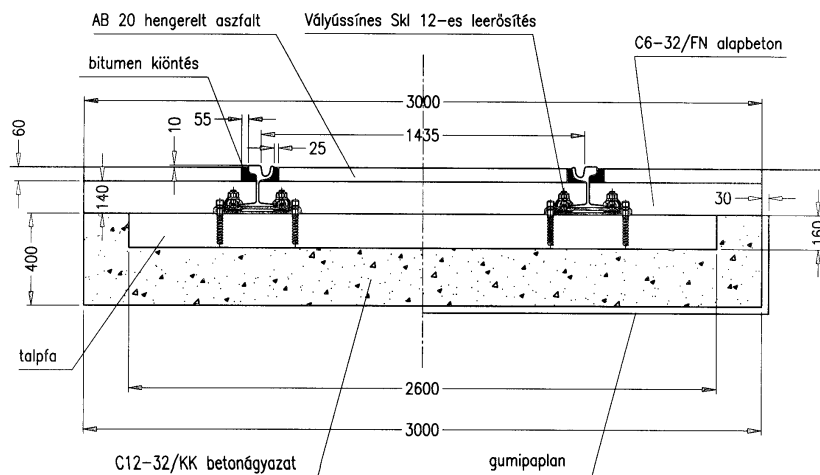
A következő néhány fejezetben bemutatásra kerülnek az alkalmazott pályaszerkezeti megoldások, különös tekintettel a szerkezeti kialakításra és az építés körülményeire.

3.3.2.1. *Vályús sínes, bebetonozott talpfás vágány*

A bebetonozott talpfás vágányok használata nagy múltra tekint vissza, már az 1950-es évektől kezdve széles körben elterjedten alkalmazzák és épül közúti vasút ezzel a pályaszerkezeti megoldással. Általában használatos olyan helyeken a vágányban, ahol különösen nagy igénybevételek léphetnek fel, így kis sugarú ívekben, kitérőkben, vágánykapcsolatokban.

A pályaszerkezet burkolt vagy burkolatlan kivitelben is készülhet. Betonágyzatba helyezik el a talpfákat, 100 cm-es kiosztással. A lekötés rendszere lehet hagyományos GEO közvetett vagy közvetlen, illetve GEO alaplemezen alkalmazott Skl-3 vagy Skl-15 szorítókegyeles.

Burkolt sínek esetében Phönix síneket és olyan GEO alaplemezeket használnak, melynek nincs hajlása. Alaplemezek esetében a faaljakhoz 4 db tőcsavar rögzít. Használatos nyomtávartó rúd ennél a rendszernél, mely általában köracél keresztmetszetű. A teljes szerkezeti magasság átlagosan 600 mm. A szerkezeti kialakítás a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: vályússínes, bebetonozott talpfás vágány keresztmetszete [4]

A faaljak és alaplemezek közé talpgumit szoktak elhelyezni, illetve a sínkamrákba gyakorta sínkamra elemeket helyeznek el, így rugalmasságot és zaj-és rezgéselnyelő tulajdonságot lehet biztosítani a rendszernek. A pályát betonnal, bazaltbetonnal, díszkövekkel, térkövekkel és aszfalttal lehet burkolni.

Építéskor a faaljakat 384*150*14 mm méretű, négylyukú GEO alátétlemezekkel 1435 mm nyomtávolságra lemezelik fel, ez alá helyezik el a gumi alátét betétet, majd a tőcsavarok számára elkészítik a furatokat. A furatok falát kátránnyal kenik be, az alátétlemezeket 2-4 db „K” jelű síncsavarral rögzítik. A pályaszerkezet alulról felfelé épül, 3,0 m széles földmunkatükröt, megfelelő tömörséggel kell elkészíteni. A faaljakat 100 cm aljkiosztással helyezik el ideiglenes alátámasztásokra. Alátétlemezeken is elhelyeznek gumialátéteket, ezekre kerül ráemelésre az előzetesen összehegesztett sínszál. A vágányt az egyik sínszálhoz igazodva lekötik, majd a nyomtávolságot 2,0 méterenként felerősített köracél nyomtávartó-rudakkal 1435 mm-re pontosan szabályozzák. A betonozás megkezdése előtt a talpfákat két végükön hosszirányra merőlegesen átfúrják, majd a betonnal való együtt dolgozás érdekében egy-egy betonacélt helyeznek a furatokba. Felállítják a zsaluzatot, majd a vágányt oldalirányban rögzítik, ezzel biztosítva annak elmozdulás-mentességét. Közvetlenül a betonozás megkezdése előtt a földmunka oldalait benedvesítik. A betonanyagot a rendelkezésre álló terület függvényében beton-mixer-kocsikról csúszdán vagy pumpás betonkeverőkről juttatják az aljak

közé, melyet rétegenként túvibrátorral tömörítve elterítnek. A kibetonozást az aljak felső síkja alatti 1 cm-es síkig végzik el. Az építést az 5. és 6. kép mutatja be.



5. kép: bebetonozott talpfás kitérők építése Szegeden, a Dugonics téren (2002) [3]

A burkolatkészítés előtt a pályaszakaszt vasúti forgalommal megjárattják, majd a meglazult csavarokat utóhúzzák. A sántalp és az alapbeton közötti hézagot PUR hab kitöltéssel kezelik, így akadályozható meg a sántalp közvetlen érintkezése a betonnal. A beton pályalemezre két rétegben tömörített beton alap készül, erre pl. öntött aszfalt burkolat készülhet, melyet a sínkorona szint alatt 1 cm magasságig dolgoznak fel. A sínfej és az aszfalt burkolat közé hézagkitöltő anyag, leggyakrabban vagy gumibitumen, vagy modifikált bitumen kerülhet. Az építések során gyakoriak a technológiai hiányosságok: hasznos lenne a sántalp alatti rugalmas közbetét és gumipaplanok alkalmazása, de ez rendszerint elmarad, illetve a kapcsolószerkezet geotextíliával kellene védeni, melyet nem tesznek meg minden esetben.

Üzemeltetési tapasztalat, mely szerint a kapcsolószerkezetek és a sínek cseréje burkolt felépítmény esetén kibontás nélkül nem lehetséges, ugyanígy a talpfák cseréjéhez is a teljes pályaszerkezetet fel kell bontani. Az UIC előírásainak megfelelően 2018-tól nem épülhet talpfás vágány, így ettől a pályaszerkezettől eltérő rendszer vagy műanyag aljak alkalmazására lesz szükség hosszú távon.

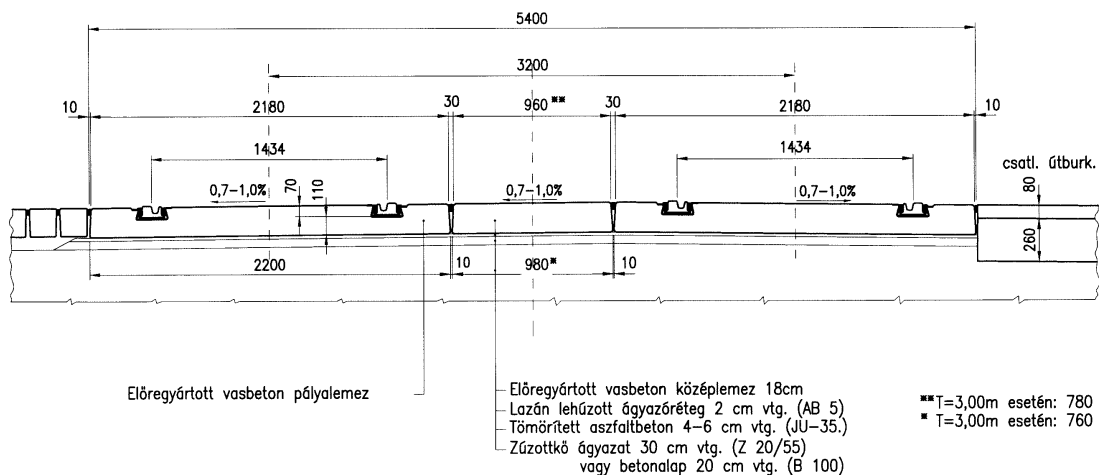
A bebetonozott talpfás pályaszerkezetek előnyei, hogy gyorsan építhető, a használt anyagok újrahasznosíthatóak, azonban ez egy merev pályaszerkezeti kialakítás, nem dolgozik együtt megfelelően a talpfa és a beton pályalemez, a gumibitumen rossz hézagzáró, illetve a nyomtávartó rudak rugalmasság szempontjából kemény pontokat jelentenek.



6. kép: bebetonozott talpfás vágány építése Budafok kocsiszíjben, 2017. március 17-én

3.3.2.2. Előregyártott betonlemez, tömörsínes, gumiszalag leerősítésű közúti vasúti pályaszerkezet

A nagypaneles felépítmény ágyazatát zúzottkő vagy monolitikus betonlap képezi, melyen tömörített aszfaltbeton és laza ágyazóréteg húzódik. Erre fekszik fel a pályaszerkezet legfőbb eleme, az előregyártott, hosszirányban előfeszített, keresztirányban lágyvasalású közúti és vasúti forgalomra méretezett pályaszerkezet. A panelek fix szélességben és magasságban készülnek (2180 mm és 180 mm), hossza változatos: 5986 mm, 2903 mm, 1410 mm, 665 mm és 540/500 mm.



4. ábra: előregyártott betonlemez, tömörsínes közúti vasúti pályaszerkezet [4]

Kétvágányú pálya esetén a pályalemezek közé változó hosszmeretű, eltérő szélességű középlemezek építendőek be. A pályalemezekben sínvályú csatornák helyezkednek el, ebben kerül elhelyezésre a tömörsín. A tömörsínek tulajdonságaiból fakadóan (kis profil magasság és alacsony inercia) alájuk folyamatos, bordázott alátét szalagot helyeznek, rögzítésük pedig préselt rugalmas gumiszalagokkal történik.

A pályaszerkezet építése alulról felfelé halad, a megfelelő földmű előkészítettség elérése után 30 cm vastag tömör zúzottkő ágyazat vagy 20 cm vastag beton alapréteg kerül kialakításra. Erre egy 4-6 cm vastag aszfalt réteg kerül leterítésre, melyet legcélszerűbb aszfalt finiserrel elvégezni, és a megfelelő tömörség elérése érdekében hengerekkel kezelni. Erre további 2-4 cm kiegyenlítő aszfalt réteg kerül, melyre behelyezik a vágánylemezeket. További finomszabályozásra a lemezek megemelése után injektálással van lehetőség, mely lehet cementbázisú habarcs, szintetikus hab vagy folyósbeton. A síncsatornákba ezek után behelyezésre kerül az alátét gumiszalag, erre kerülnek ráfektetésre a tömörsínek. Egy speciális gumiszalagbenyomó járművel az oldalsó gumiszalagokat az acélvályú és a tömörsín közé préselik, ezzel kialakul a megfelelő nyomtávolság. Utolsó lépésként a pályalemezeket határoló hézagokat hézagkitöltő anyaggal, rendszerint bitumennel zárják le.

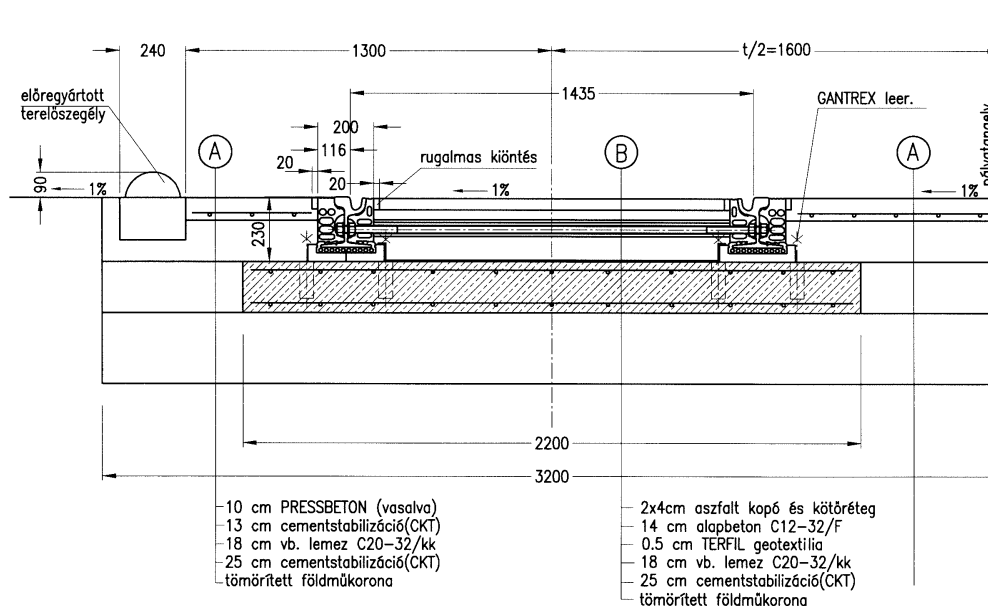
Az acélvályúk az első időszakban szimmetrikus kialakításúak voltak, ezeket a sínkopások miatt rövid időn belül elérte a nyomkarima, az acélvályú felső síkját elverni kezdte, később a betonban is kárt tett, később a gumiszalagok is lazulni kezdtek, majd a víz be tudott jutni a pályaszerkezet alsóbb részeibe. A hézagkitöltő bitumen öregedésre hajlamos, hamar merevvé vált és kipergett a hézagokból, mely szintén a víz bejutását segítette.

Vitathatatlanul ennek a pályaszerkezeti rendszernek az előnye, hogy gyorsan, egyszerűen és olcsón építhető, de az egyes panelelemek között nincs kapcsolat, nem tudnak együtt dolgozni, továbbá csak a panelek végei szabályozhatók, így gyakoriak a fekszinhibák, melyet az esetlegesen üzemszerűen közlekedő közúti forgalom csak fokoz.

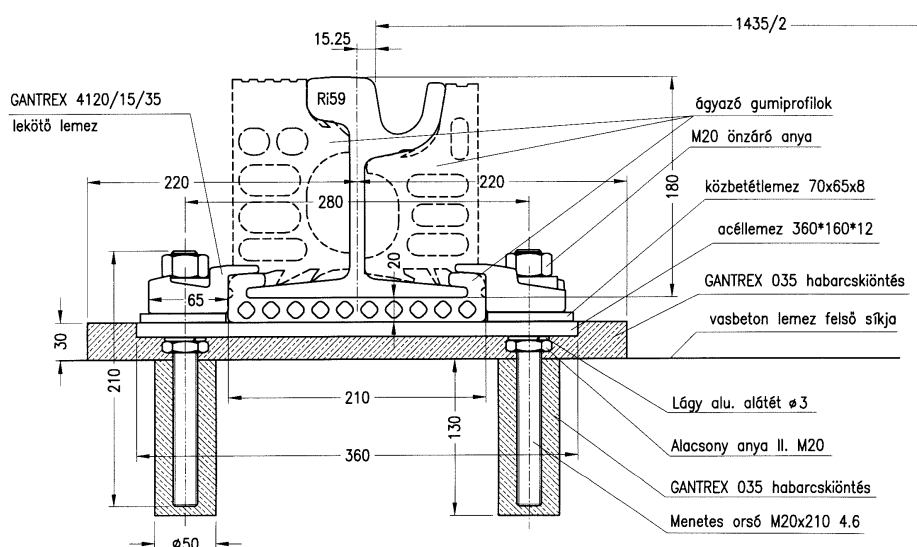
3.3.2.3. Kiöntőhabarccsal készített, alaplemezen fekvő, korlátozott szorítóhatású leerősítéssel készülő közúti vasúti pályaszerkezet

A Gantrex habarcsanyaggal aláöntött, korlátozott szorítóhatású leerősítésekkel, rugalmas kamraelemekkel kialakított pályaszerkezet Ortec Rafs, Gantry Rafs, de egyszerűen „Rafs” néven is említi a szakma. A német-holland Edilon-Sedra vegyesvállalat és a magyar Q-Med Kft. kidolgozta az „Edilon Sedra SDS – Q-Med típusú pályaszerkezetet, mely csak a talpgumik és a kamraelemek kialakításában, összetételében térnek el a hagyományos „Rafs” rendszertől. A pályaszerkezet alapja egy 20-25 cm vastag CKt réteg, mely a tömörített földműkoronára kerül beépítésre. Erre épül az a beton alaplemez, mely általánosan 180 mm vastag, nyomvonalaként 2200 mm széles. Erre a vasalattal rendelkező betonlemezre kerül ráfektetésre a vályús sín, mely alatt rugalmas talpgumi van, valamint a gerinchez rugalmas kamrakitöltő gumi elem kerül felragasztásra. A talpgumik alsó és a vasbeton lemez felső síkja között rugalmas kiöntő habarcs kerül beépítésre. A sínszalakat közvetlen rendszerű leerősítéssel rögzítik az alaplemezhez, fűrt-

menetes-ragasztott csavarszálakkal (A Gantry cég a Gantrex típusú leerősítést használta ennél a felépítményi rendszernél). Egyenes pályaszakaszokon 6 m sűrűséggel, ívek esetén a körívsugar függvényében kerülnek elhelyezésre a leerősítések. A nyomtáv biztosítása érdekében a síneket 1,5 méterenként nyomtávartó rudak kötik össze. A sínszálak közötti teret betonnal, bazaltbetonnal lehet kitölteni, melyre kopóréteggént aszfalt (kompozit burkolat), press beton, densiphalt vagy térkövelemek kerülnek. A nyomtávartó rudak részt vesznek a vízszintes irányú erők felvételében a bebetonozásnak köszönhetően. A pályaszerkezet keresztmetszetét az 5. ábra, a leerősítést az 6. ábra mutatja be.



5. ábra: Ortec Rafs rendszerű pályaszerkezet keresztmetszete két leerősítés közötti szakaszon, nyomtávartó rúddal szerelve [4]



6. ábra: vályússínes, rugalmas alátámasztású folyamatos sínágyazású (Rafs) leerősítés [4]

A földműtűkröt 3,0 méter szélességben alakítják ki, vágányonként, melyre ráépítésre kerül a pályaszerkezet alsó rétege, a minimum 20 cm cementstabilizált réteg. Az elkészült és megszilárdult rétegen két sorban helyezik el a betonacél-hálót, úgy, hogy az alsó háló a stabilizáció felett 30 mm-rel, a felső háló síkja pedig 80 mm-rel helyezkedjen el. A betonozást zsaluzással készítik elő, a beton mixerkocsiból vagy pumpás betonkeverőből érkezhethet, a tömörítés tűvibrátorral, a simítás simítóléccel történik. Szilárdulást követően 5 méterenként 40 mm mély vakhézagokat kell kialakítani a repedésirányítás okán.

A beton megszilárdulása után ideiglenes párnafákon helyezik el a sínszalakat, ezután a nyomtávartó rudak helyeit alakítják ki. A nyomtávartó rudak segítségével normál nyomtávolságra szabályozzák be a vágányt, ezután hegesztik. A nyomtávartókkal felszerelt vágányrácsot megemelik annyira, hogy a sínfalra fel lehessen ragasztani a talpgumikat, valamint felhelyezni a leerősítéseket. A menetes orsókra felhelyezik az alacsony anyákat és alátéteket, majd az acéllemezzel együtt a talpgumihoz szorítják, melyet a lekötő lemezekkel és önzáró anyákkal rögzítenek a sínhez. Az irány és fekszint szabályozása után az aláöntéshez szükséges zsaluzási munkákat elvégzik, a talpgumik alsó síkjáig, lekötéseknél az acéllemez felső síkjáig öntik ki habarccsal a teret, ha ez megszilárdul, eltávolítják a zsaluzatot. A vágány ezután rögzített az alaplemezhez, illetve biztosítva van a folyamatos alátámasztás.



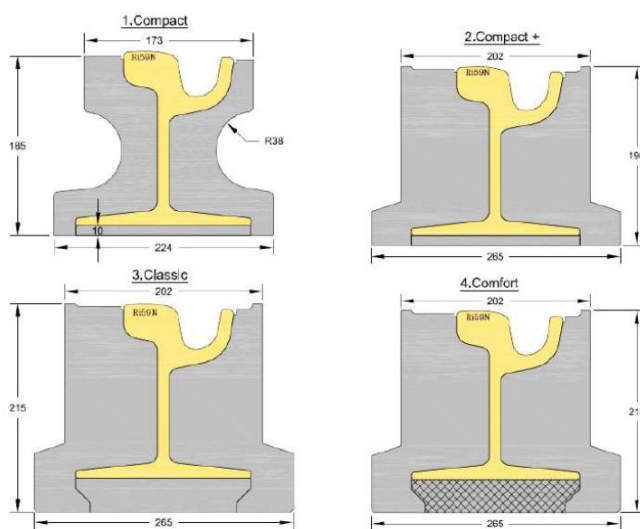
7. kép: Ortec Rafs pályaszerkezet állapota Szegeden, 2014. július 1-jén [3]

Ezt követően a kamrakitöltő gumiprofilokat behelyezik a sínszalak külső és belső kamráiba, valamint a nyomtávartó rudakat is gumiprofilokkal szerelik fel. A vágánytengelybe, valamint kétvágányú pálya esetén a pályatengelybe alapbeton réteg, a külső sínszalak és a csatlakozó burkolat közé aszfaltréteg kerül. Legfelső burkoló réteggént öntött aszfaltot, press-betont vagy bazaltbetont alkalmaznak. A sínszalak és a burkolat közötti hézagot megfelelő kimunkálás után vízzáró bitumenes kiöntéssel zárják le.

A rendszer előnye, hogy folyamatos, rugalmas alátámasztást ad a síneknek, zaj és rezgés elnyelő gumi elemekkel rendelkezik. Alapvető konstrukciós probléma ennél a felépítményi típusnál, hogy a leerősítéseken kívül semmilyen más kapcsolat nincs a vágányrács és az alaplemez között. Mivel a leerősítések csak 6 méterenként találhatók meg, így különösen érzékeny a szerkezet egy-egy lekötés tönkremenetelére. A pályaszerkezet további problémája, hogy sínek cseréjénél, hibás vágányszakaszok javításánál fel kell bontani a teljes burkolatot, gyakorlatilag alaplemezig minden szerkezeti elemet el kell távolítani. Újjáépítés esetén használt anyag beépítése egyáltalán nem lehetséges.

3.3.2.4. CDM QTrack sínágyazási rendszerű pályaszerkezet

A CDM QTrack kapcsolószer és nyomtávartó rúd nélküli, rugalmas alátámasztású, folyamatos sínágyazású rendszer. A sínszalakat azok oldalán és talpán is CDM Jacket rugalmas elemek veszik körül. A gumi elemekkel felköpenyezett síneket betonkiöntéssel rögzítik ezáltal mind függőlegesen lefelé, mind oldalirányban megfelelő, rugalmas alátámasztás biztosított a vágány számára. A betonkiöntéssel egy pályalemez alakul ki, mely legtöbbször vasalást tartalmaz, de akár kialakítható műanyag szálerősítésű beton pályalemez is. Rezgéscsillapítási és rugalmassági igény szerint többfajta gumi elem alkalmazható, továbbá a pályalemez úsztatással is kombinálható, tehát ebben az esetben rugalmas gumipaplan veszi körbe a pályalemez alsó-, valamint két oldalsó síkját. Az alkalmazható köpenyeket a 7. ábra mutatja be.



7. ábra: sínköpenyek és sintonpszalagok Ri59 rendszerű sínhez [3]

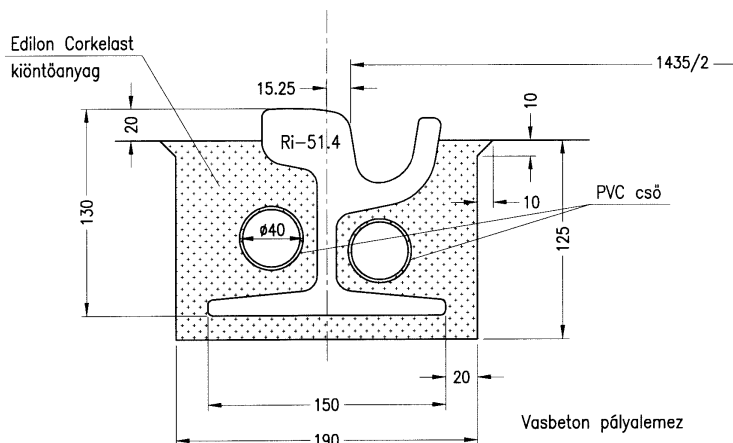
Építés során a megfelelő tömörségű, előkészített földműre homokos kavics védőréteget, illetve cementstabilizációs (CKt) réteget terítenek, melyet lapvibrátorral vagy hengerrel tudnak tömöríteni. Az alépítményre ideiglenes faelemeket helyeznek el, melyekkel a felköpenyezett síneket támasztják meg. A felköpenyezéshez a sintont először fejjel lefelé fordítják, ragasztóval kenik be a talpat, ezután ráhelyezik a rezgéscsillapító alátétszalagot. Kóboráram elleni védelem

esetén szigetelő fóliát ragasztanak a sínszalak köré az alátétszalag felhelyezése előtt. Az oldalsó köpenyekre is általában ragasztót visznek fel, majd műanyag és fém pántokkal az elemeket összefogják, ezután tudják visszafordítani a sánt. A sínfejnél a kifolyó ragasztóanyagot tömítés céljából elegyengetik. A síneket visszafordítás után hegesztik, a varratokat tisztítják, hogy itt is fel lehessen helyezni a gumielemeket. Egyenes pályaszakaszon három méterenként, íves pályaszakaszokon két méterenként kell felállítani a függesztő műveket, melyekkel megemelik a vágányt, majd az ideiglenes fa alátámasztásokat eltávolítják. A vasalás behelyezése után a függesztőművek segítségével beszabályozzák a vágányt. A betonozás előtt kialakítják a dilatációs szerkezeteket, valamint felállítják a zsaluzatot. A betonozás általában egy vagy kettő ütemben zajlik. Amennyiben a sínkoronaszintig készül a beton burkolat, úgy kettő lépcsős kivitelezési technológiát kell alkalmazni. A betonozás után eltávolíthatók a függesztőművek, majd a felső kopóréteg kialakítása következik, mely lehet beton, bazaltbeton, press-beton, térkő vagy aszfalt, illetve kialakításra kerülnek a dilatációs hézagok.

A CDM pályaszerkezet alkalmazása zaj-és rezgéscsillapító tulajdonsága, rugalmasság, alacsony szerkezeti magassága, egyszerű szerelése és a Top-Down technológia, sokoldalú burkolati kialakíthatósága és alacsony karbantartási igénye miatt hatékony megoldás, azonban sarkalatos pont a vágány stabilitása, a nyomtáv biztosítása.

3.3.2.5. Rugalmas kiöntőanyaggal körbeágyazott sínekkel épülő pályaszerkezet

Hazánkban eddig két cég termékeivel épületek sínkörülöntéses vágányok, az egyik termék az Edilon cég által forgalmazott kétkomponensű, parafatartalmú Edilon Corkelast rugalmas kiöntőanyaga, a másik ilyen típus a Sika cég által gyártott szintén kétkomponensű, poliuretán bázisú Icosit rugalmas kiöntőanyag. A sínek rögzítéséhez itt sem alkalmaznak kapcsolószerkezetet, sem nyomtávartó rudakat, hasonlóan a CDM rendszerhez. Rafs rendszernek tekinthető, mivel a sínek alátámasztása rugalmas, ágyazásuk pedig folyamatos.



8. ábra: vályúsínes, sínkörülöntéses leerősítés részletrajza [4]

A városi közúti vasutaknál a sínszalak elsősorban előregyártott, vagy monolitikusan kialakított vasbeton pályalemezek, vagy vasbeton hosszgerendák síncsatornáiban helyezkednek el, de acél sínvályú csatornába helyezett és ágyazott kialakítással is találkozhatunk. A pályalemez kerülhet alaplemezre, közvetlenül kialakítható cementstabilizációs rétegen is. A pályalemez szélessége nyomvonalanként 2400-2900 mm. Vastagsága a terheléstől függ, méretezés kérdése, általánosságban 350-400 mm vastag. A rendszer előnye, hogy tetszőleges sínszelvény alkalmazható, így a síncsatornák szélessége és mélysége az alkalmazott sínszelvény függvénye. A sántalp mellett és alatt is 20 mm-t kell biztosítani a kiöntőanyag számára.

A megfelelő tömörségű földműkoronára 20-25 cm vastag CKt réteget fektetnek, szükség esetén homokos kavics védőréteggel kiegészítve. A pályaszerkezet épülhet betonlemezre is, ebben az esetben gondoskodni kell a felépítmény és az alaplemez együtt dolgozásáról. Az acélelemek mennyiségét, geometriáját statikai méretezéssel kell megállapítani (szálerősítésű betonok esetén ez nem érvényes). A beton pályalemez mozgását a dilatációs szerkezetek teszik lehetővé, ezek kialakítása után kerülnek elhelyezésre a síncsatorna elemek.

A pályalemezt egy lépésben betonozzák ki, minősége általában C30/37 vagy C20/25. A friss betont tűvibrátorral tömörítik, elsimítják, a felületét acélszeprűvel lehet érdesíteni. Vakhézagok kialakítását követően van lehetőség a hibák javítására.



8. kép: sínkörülöntéses, nagyelemes útátjáró Szegeden

A síneket és a kiöntést befogadó csatornákat gondosan kell előkészíteni, szükség esetén fekszint kiegyenlítést cementbázisú duzzadó kiöntőhabarccsal vagy epoxigyanta alapú anyaggal végzik el. A felület tapadó-húzószilárdságát tapadókorongok vizsgálatával mérik, esetenként a tapadás javítása érdekében még csiszolnak. Az alapozás elkészítése és a kiöntés között maximum három nap telhet el, ellenkező esetben más, hatékonyabb alapozó anyagokat

kell alkalmazni. Eközben a síneket a telephelyeken előkészítik, homokfúvással tisztítják meg és alapozóréteggel vonják be. A helyszínen ideiglenes, a síncsatornára merőleges támaszokra kerülnek, ezeken készülnek el a hegesztések. A sínkamrákban elhelyezik azokat a PVC takaréksöveket, melyeket műanyag pánttal a sínekhez rögzítenek, valamint a csatornában elhelyezésre kerülnek azok az alátételezések, melyek biztosítják a hézagot a kiöntő anyagnak a sántalp aláfolyáshoz. Beemelést követően a síneket beszabályozzák ékekkel, vagy külön erre a célra készített elemekkel.

A kiöntést csak megfelelő környezeti körülmények között lehet elvégezni. Két lépcsőben történik: az első lépcsőben a síngerinc feléig készül el a körülöntés, majd második lépésben a vágánytengely felé eső oldalon a vályúorr felső síkjáig, a külső oldalon a sínfej alatt 20 mm-ig történik meg. Az anyag 2-3 óra elteltével tud megszilárdulni. 20 °C-on 24 óra száradást követően a pálya közlekedésre alkalmas.

3.4. Tapasztalt hibajelenségek

3.4.1. Budapesti helyszínek

Budapesten a bazaltbeton burkolatú közúti vasúti pályákon jelentős burkolati hibák a beépítések óta nem jelentkeztek, a tapasztalatok itt jóknak mondhatók (a közúti forgalom sokkal kisebb, mint a szegedi szakaszokon). A Böszörményi úton nagypaneles, tömbsínes felépítmény állaga összességében a korának megfelelő, a csatlakozó útpálya aszfaltja nagyon sok helyen elvált, a nagypanelek többségének élei, sarkai sérülnek az üzemszerű közúti forgalomnak köszönhetően. A nagypanelekre ezen a szakaszon fekszinthibák nem jellemzők.



9. kép: nagypaneles felépítményi rendszer a Böszörményi úton

A Múzeum körúton jelentősnek mondható az aszfalt burkolat leromlása. A tapasztalt hibákról elmondható, hogy a kezdeti elválások, repedések, megnyílások a sínszál környezetében kezdődnek, a víz könnyedén befolyhat a sínszál és a burkolat közé. A repedések több helyen is tovább fejlődtek hálós repedésekké (10. kép).



10. kép: kitöltő anyag teljesen hiányzik, hálós repedések indultak el az aszfaltban

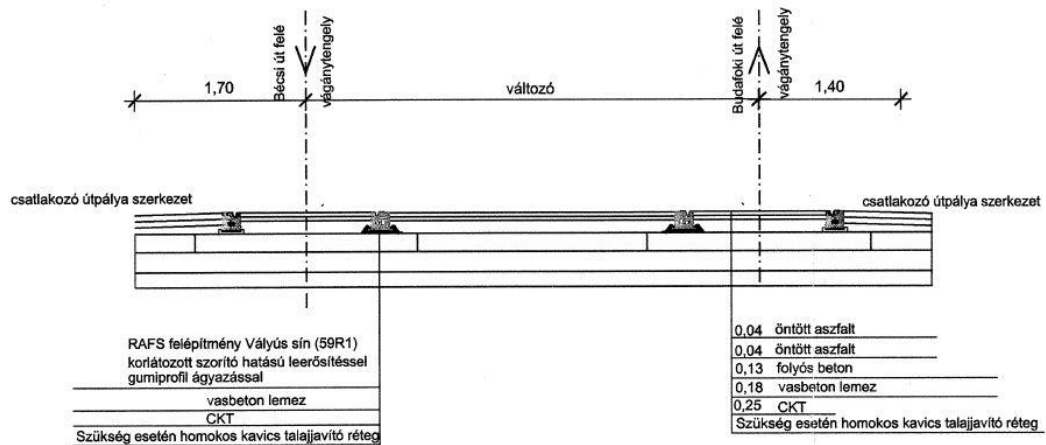
A Múzeum körút teljes hosszában tapasztalhatók a hibák, néhol a sínszálak mentén összefüggő, széles nyílások láthatók. Több helyen kátyúsodás is megindult, illetve a

nyomvályúsodás is érezhető néhol. Az autóbuszokon utazva érezhető az utazási komfort romlása.



11. kép: a sínszál-burkolat kapcsolatból kiinduló burkolati hibák

A Múzeum körúton lévő Gantry Rafs pályaszerkezetbe kopó-és kötőréteggént 2*4 cm hengerelt aszfalt (AC) lett beépítve, alatta beton alapréteg található. A vasbeton pályalemez 18 cm vastag, alatta további 25 cm CKt réteg található, melyet helyenként homokos kavics talajjavító rétegre fektettek (9. ábra).



9. ábra: a korábbi Bartók Béla úti Gantry Rafs vágány mintakeresztmetszelve [5]

Hasonló módon épült a Bartók Béla út is, ahol szintén hamar megjelentek a burkolati hibák, itt hengerelt aszfalt helyett öntött aszfaltot alkalmaztak kopóréteggént.

3.4.2. Szegedi helyszínek

Az előző fejezethez hasonló szisztémában fogom bemutatni a szegedi bejárásokon tapasztalt burkolati hibákat, melyeket kiegészítettem a Szegedi Közlekedési Kft. által a részemre bocsátott információkkal és képanyagokkal. A hibákat az előfordulási hely és a pályaszerkezet típusok alapján csoportosítottam.

Szegeden, a Kossuth Lajos sugárút és a Rókusi körút keresztezésében kialakított körgeometriájú csomópont üzembe helyezése 2010 tavaszán, április-május hónapokban zajlott le, ekkor a csomópont teljes egészében elkészült, a közúti vasúti pályaszerkezetekkel együtt. A Kossuth Lajos sugárúton a városból ki-és befelé irányban is jelentős helyi és helyközi autóbusz forgalom terheli, mely a csomópont északi és déli részén található közúti vasúti ágakat keresztező forgalomként terheli. Az M43-as autópálya várost elkerülő szakaszának átadása ebben az időszakban zajlott, több ütemben (2010. április 1-től 2011. április 20-ig). A csomópontot egy éven át nehéztehergépjármű forgalom is terhelte, mely fokozott keresztirányú igénybevételt jelentett a közúti vasúti vágányokon.



12. kép: keresztezési csúcsok közelében bekövetkezett beton tönkremenetel [3]

A csomópontban több vágánykapcsolás is található, ugyanis itt ágazik el az 1. számú és a 2. számú közúti vasúti viszonylat, továbbá deltakapcsolat is kialakításra került. A vágánykapcsolások miatt sok hegyesszögű, elkeskenyedő geometriájú felület található (például kitérőkben, a keresztezési csúcsok közelében) (13. kép). A csúcsoknál keresztirányú repedések jelentek meg, melyek gyakorlatilag letörték a helyesszögű beton burkolatot.



13. kép: csatornázott keresztező nehéztehergépjármű forgalom hatása a kopórétegre [3]

A vágánykapcsolások a betonburkolatban igen különleges geometriai alakokat eredményezhetnek, ilyen esetekben különösen fontos a jó hézagolási és táblakiosztási tervek elkészítése. A csatornázott forgalom hatására a keresztezett vágányszakaszokon kátyúsodás, hálós repedések jelentkeztek. A repedések és a kátyúk a jármű keréknyomban jöttek létre jellemzően, de több esetben a burkolat károsodása nagyobb kiterjedésű volt. (14. kép)



14. kép: hálós repedésekből kialakult tönkremenetel a Damjanich utcai megálló előtt [3]

A Kossuth Lajos sugárúti vonalszakasz építését 2010 tavaszán fejezték be, ezután a helyi autóbuszok már használhatták a közösségi közlekedési sávot. 2011 februárjában már a vágány jobb oldalán, a sínszál külső oldalán kistengelyben megjelentek a hálós repedések, majd rövid időn belül teljesen tönkre ment a burkolat (15. kép). A vágányban, nagytengelyben nem jelentkeztek repedések még ekkor.

Ezen a szakaszon elképzelhető, hogy víztelenítési vagy alépítményi hiba is közre játszhatott a tönkremenetelben.



15. kép: burkolati hibák a Párizsi körút – Kossuth Lajos sugárút csomópontban [3]

A Kossuth Lajos sugárút – Párizsi körút csomópont közötti vasúti felületei 2010 tavaszán készültek el. A csomópontban az M43-as autópálya elkerülő szakaszának 2011. áprilisi átadásáig a Kossuth Lajos sugárútról balra kanyarodó forgalom jelentős volt, mely forgalomban magas volt a nehéztehergépjárművek aránya.



16. kép: folyamatos a repedésjavítás a bazaltbeton kopórétegen

A mai napig jellemző, hogy a hézagoktól kiindulva, a sarkok környékén repedések jelennek meg, majd azok hálós repedésekké fejlődhetnek tovább. (16. és 17. kép)



17. kép: bazaltbeton burkolati hibák a Glattfelder Gyula téren [3]

A bazaltbeton burkolatok (és a CDM rendszer) esetében alkalmazott teljes pályaszerkezeti rétegrend:

- 10 cm CP4/3 bazaltbeton kopóréteg
- 1 réteg Estrifan Haftbrücke ásványi alapú tapadóhíd
- 1 réteg Sikafloor Proseal-13W utókezelőszer
- 14 cm C30/37 acélszál erősítésű beton

- 20 cm C30/37 vasbeton pályalemez kétrétegű hálóvasalással ($\phi 12$ 150*150 mm acélháló)
- 15 cm C12 beton
- 25 cm talajcsere (CTt-2)
- 10 cm homokos kavics
- műszaki textília
- meglévő földmű

Az Anna-kúti csomópont átépítése 2008. július 1. és október 23. között zajlott, ennek a fejlesztésnek köszönhetően kicserélték a kitérőket és a keresztezéseket (Szeged közúti vasúti csomópontja), valamint a közúti vasúti vágányokban és a közúti forgalmi sávokban átépítették a pályaszerkezeteket. A csomópont átadása után 1-2 éven belül megjelentek a burkolati hibák, melyek kezdetben a sínszál és a burkolat közötti kapcsolati problémákra korlátozódtak, majd kiterjedtebben repedések indultak el, valamint a csatornázott busz és trolibusz forgalomnak köszönhetően nyomvályúsodás indult el mindkét vágányon. (19. kép)



18. kép: nyomvályúsodás és a sínszál melletti károsodások az Anna-kúton

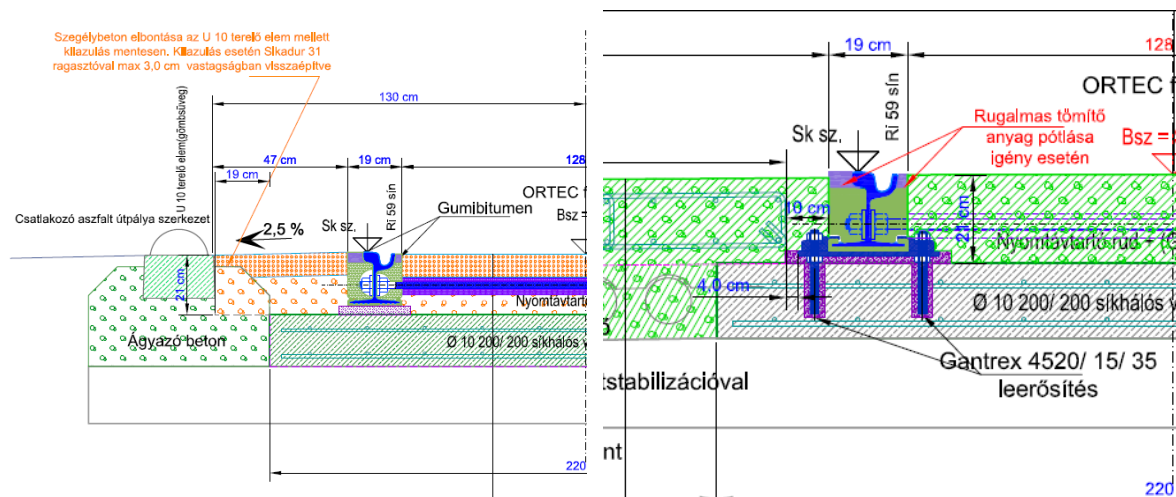
Az Anna-kúton alkalmazott pályaszerkezeti rétegrend a következő:

- Ortec Isolast sínágyazás és Gantrex leerősítés
- 4 cm vastag öntött aszfalt kopóréteg
- 18 cm C7,5/32/KK folyópálya alapbeton
- MSZ 3269 bitumenes kenés
- 18 cm C20/32/kk vasbeton lemez
- 20 cm vastag cementstabilizált homokos kavics
- földmű korona



19. kép: Ortec Rafs pályaszerkezet károsodásai

Az Ortec Rafs pályaszerkezet a Tisza Lajos körút 2004-es átépítésekor hengerelt aszfalt kopóréteggel épült meg. Szeged közösségi közlekedési szempontból egyik legterheltebb pályaszakaszáról van szó, hiszen csúcsidőben óránként akár 40 autóbusz és trolibusz, illetve további 10 db villamos is leközeledhet munkanapokon. Erre a szakaszra jellemző, hogy a burkolati hibák a sínszál és a bitumenkiöntés, valamint a burkolat kapcsolatának környezetéből indulnak ki, első időszakban megnyílik, majd repedésekké fejlődik, később néhány helyen kátyúsodás lesz megfigyelhető (20. kép). A pályaszerkezeti rétegrend megegyezik az Anna-kútnál ismertetett felépítéssel, azonban itt kopóréteggént 4 cm AC12 hengerelt aszfaltot építettek.



10. ábra: az Ortec vágány Densiphalt kopóréteggel és szálerősített betonburkolatú kialakítással [3]

A Dugonics téri megállóhely Szeged legforgalmasabb közösségi közlekedési megállóhelye, a körút átépítésének első ütemeként 2002-ben épült át. A hengerelt aszfalt kopórétegen hamar jelentkeztek a Tisza Lajos körútihoz hasonló burkolati problémák, így 2011-ben eltávolították az aszfalt réteget, helyette densiphalt burkolatot építettek be 4-6 cm vastagságban. Ez nem vált

be, hiszen 3 hónap múlva a densiphalt tönkrement, porladni kezdett, teljesen szétmállott, kátyúsodás és hálós repedések jelentek meg (21. kép). A densiphalt burkolat építésénél problémák is felmerültek, ugyanis az építéshez teljesen száraz körülményekre lett volna szükség, azonban ez nem állt rendelkezésre. Így a densiphalt kopóréteget és az alatta lévő 18 cm vastag folyópálya betont elbontották, helyette 21 cm vastagságban CP4/2,7 vagy C30/37 XC4, F2 keverékű, szálerősített ($2,5 \text{ kg/m}^3$) zúzottkő bazaltbeton épült be (10. ábra).



20. kép: Densiphalt burkolat állapota pár hónappal a beépítés után [3]

A szálerősített betonburkolat építésénél alkalmazott pályaszerkezeti rétegrend a következőképpen alakult:

- 21 cm CP4/2,7 C30/37 XC4, F2 zúzottkő bazaltbeton $2,5 \text{ kg/m}^3$ Bar-Chip szerkezeti szállal erősítve
- $\phi 10$ vasbetétek, kengyelek, $\phi 12$ hosszvasak
- geotextília min. 210 g/m^2 súlyú 16 kN szakítószilárdság
- védőcső CKt ágyazatba építve
- 18 cm vastag C20/32 KK
- 20 cm homokos kavics cementstabilizáció
- földmű



21. kép: A Dugonics téri megállóhely burkolatának állapota 2017-ben

A szálerősített beton felső réteg beépítése óta a Dugonics téren az eddig előforduló burkolati hibák nem jelentkeztek, néhány helyen tapasztalható csak a táblák sarkainál, éleinél elindult repedés (22. kép). Jellemző továbbá, hogy előrecednek a bitumenes kiöntések, ezek merevvé válnak és a hézagokból kitöredezve (23. kép). Érdekesség a Dugonics téren, hogy a bebetonozott talpfás kitérőknek és az Ortec Rafs pályaszerkezetnek rendkívül eltérő a hőmérséklet-változástól keletkező mozgása, mely korábban szintúgy közrejátszott a burkolati hibák kialakulásában. Az átmenet biztosítása érdekében a két pályaszerkezet közé dilatációs zsilipet építettek be.



22. kép: fugaanyag merevedése és kitöredezése

3.5. Forgalmi adatok vizsgálata és összegzése

A rendelkezésre álló menetrendek alapján két szegedi közúti vasúti pályaszakasz, egy budapesti és összehasonlításképpen két külföldi példa autóbusz forgalmát vizsgáltam meg, ezek eredményeit közlöm a következő táblázatokban. Szegeden, a Tisza Lajos körút autóbusz és trolibusz forgalmát az 1. táblázat foglalja össze.

Buszviszonylat jelzése	Követési idő (csúcsidő-napközben)	Csúcsidőben leközlekedő jármű [db]
20	20-30 perc	3
24	20-30 perc	3
32	12-20 perc	5
74	20-30 perc	3
76	30-45 perc	2
76Y	30-45 perc	2
8	7-10 perc	11
10	7-10 perc	11

1. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Tisza Lajos körúton

A Tisza Lajos körút, az eredmények alapján, csúcsidőben igen terhelt. Összesen 40 db autóbusz és trolibusz közlekedik le egy óra alatt, reggel 7:00 és 8:00 között, ez 1,5 percenkénti követést jelent irányonként, továbbá 8 db villamos közlekedik a szakaszon ugyanabban az időintervallumban.

Buszviszonylat jelzése	Követési idő (csúcsidő- napközben)	Csúcsidőben leközlekedő jármű (db)
64	30-60 perc	2
67	-	0
67Y	30-60 perc	2
71	60 perc	1
72	60 perc	1
75	12-20 perc	5
78	30-45 perc	2
78A	30-45 perc	2
79H	30-60 perc	1
7F	-	0

2. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Kossuth Lajos sugárúton

A 2 táblázatban a Kossuth Lajos sugárúti közösségi közlekedési sáv autóbuszforgalmát foglaltam össze. Jól látható, hogy itt kevesebb a közúti forgalom, mindösszesen 16 autóbusz közlekedik irányonként, a villamosok száma (1. és 2. viszonylat) 13 db. Fontos hozzátenni, hogy a tram train közlekedés elindulása esetén további 4-5 szerelvény fog leközlekedni ezen a szakaszon csúcsórában.

A Múzeum körúton nagyobb forgalmat a 9-es autóbusz viszonylat bonyolít, további két autóbuszjárat közlekedik ezen a szakaszon a közúti vasúti pályán. Csúcsidőben 15 db autóbusz áll meg az Astoria megállóhelyen, emellett a szakaszon ugyanebben az időközben 16 db villamos közlekedik le. (A Vámház körút Fővám tér – Kálvin tér szakaszán csúcsidőben 4-6 percenként jár a 83-as trolibusz a közúti vasúti pályán.) A forgalmat a 3. táblázat foglalja össze.

Buszviszonylat jelzése	Követési idő (csúcsidő- napközben)	Csúcsidőben leközlekedő jármű [db]
9	7-10 perc	9
15	20-30 perc	3
115	20-30 perc	3

3. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközlekedő autóbuszok összesítése a Múzeum körúton

Viszonyításképpen a két, korábban már említett, külföldi példa forgalmát is szeretném bemutatni. A 4. táblázatban a belgrádi Bulevar oslobodanje közúti vasúti pályán leközeledő autóbuszok megoszlását foglaltam össze.

Buszviszonylat jelzése	Követési idő (csúcsidő-napközben)	Csúcsidőben leközeledő jármű [db]
9A1	11-20 perc	5
30R	15 perc	4
31	5-6 perc	10
36	20-40 perc	3
39R	9-10 perc	6
42R	12-14 perc	5
47R	5-7 perc	10
59R	7-8 perc	7
78	11 perc	5

4. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközeledő autóbuszok összesítése Belgrádban, a Bulevar oslobodanje-n

Szegeden, a Tisza Lajos körúton számolt 40 autóbushoz képest Belgrádban a vizsgált vonalszakaszon csúcsidőben 55 db autóbusz közlekedik le.

A második külföldi példa Graz, ahol a Petergasse-n a közúti vasúti üzem mellett szintén használja autóbusz forgalom a pályákat. Itt csúcsidőszakban 24 db autóbusz közlekedik le, miközben további 12 db villamos sűríti ezen a szakaszon a csúcsórai közösségi közlekedési kínálatot. A szakasz autóbusz forgalmát az 5. táblázat foglalja össze.

Buszviszonylat jelzése	Követési idő (csúcsidő-napközben)	Csúcsidőben leközeledő jármű [db]
63	7-10 perc	7
64	12-15 perc	5
68	30-60 perc	2
71	30-60 perc	2
72	15-30 perc	4
73U	30-60 perc	2
76U	30-60 perc	2

5. táblázat: egyirányban, csúcsórában leközeledő autóbuszok összesítése a Petergasse-n, Graz-ban

A táblázatok menetrendi adatok alapján készültek, helyszíni forgalomszámlálás nem készült, így nem tükrözi az esetleges forgalmi okokból fakadó változásokat, többlet igénybevételeket.

3.6. Következtetések

A forgalomszervezés egyre inkább alkalmazza a közösségi közlekedési sávokat, továbbá egyre több helyen válik lehetővé a közúti forgalom számára is a közúti vasúti pályák használata. Egyértelmű, hogy a közúti vasúti pályaszerkezeteket nem csak vasúti terhek veszik igénybe, illetve a felújításokra és az átépítésekre sem mindig áll rendelkezésre a megfelelő idő.

Alkalmazott felépítmény típus	Helyszín	Alkalmazott burkolat típusa	Tapasztalt hibák
bebetonozott talpfás vágány	Szeged, Dugonics tér	10 cm hengerelt aszfalt	repedések, kátyúsodás
tömbsínes, nagypaneles	Budapest, Böszörményi út	18 cm vasbeton lemez	repedések, letörések
Gantry Rafs, Ortec Rafs	Szeged, Tisza Lajos krt. Budapest, Múzeum krt.	2*4 cm hengerelt aszfalt 2*4 cm öntött aszfalt	repedések, kátyúsodás
gumiköpenyes (CDM)	Szeged, Kossuth L. Sgt.	8-10 cm bazaltbeton	repedések

6. táblázat: alkalmazott burkolatok összefoglalása

A bebetonozott talpfás kitérők esetén volt látható először, hogy a hézagkitöltő bitumen hátrányos tulajdonságai, úgymint előregedés, alacsony hőmérsékleten rideggé válás, hőmérsékletnövekedés hatására lágyulás következtében hézagzárási hiányosságok léphetnek fel. Ennek okán a pályaszerkezetbe bejutó víz, kihasználva az anyagokban található mikrorepedéseket, fagyás-olvadási ciklusok és nyomás hatására károsítani kezdi a szerkezetet. Ugyanezen hézagolási probléma megjelenik szinte mindegyik felépítmény típus esetében: a nagypaneles pályaszerkezetek esetén a panelek együtt dolgozása és a pályalemez folytonossága a technológia miatt hiányos, így fokozottan szükséges a jó hézagzáras. Amennyiben ez nem áll rendelkezésre, így a víz bejutása után a panelek mozgásra hajlamossá válhatnak.

A Rafs típusú pályaszerkezeteknél az első időszakban még sínkoronaszintig felérő kamragumi elemek nem tudtak megfelelő vízzáróságot biztosítani, melyet alacsonyabb kamraelemekkel és bitumenes vagy gumibitumenes kiöntéssel egészítettek ki. A bitumen hátrányos tulajdonsága itt is megmutatkozott: 4-5 éven belül szinte mindenhol merevvé válik, a dinamikus közúti forgalom hatására elkezd a kipergést. A nyomtávtartó rudak pedig kemény pontokként viselkednek a pályaszerkezetekben, csökkentik az effektív szerkezeti magasságot.

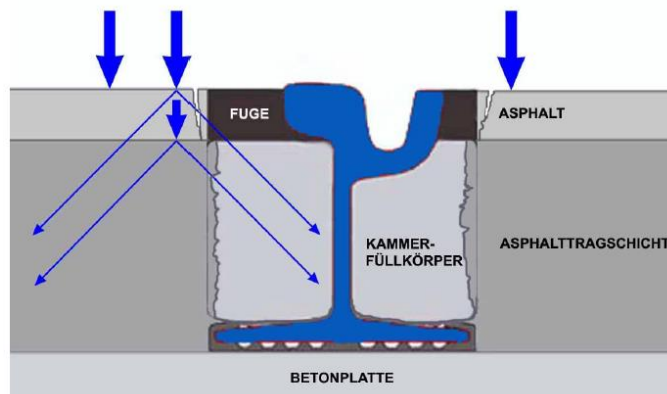
A CDM vágányok esetén nincs szilárd, fizikai kapcsolat a beton pályalemez és a sínszálak között, a gumielemek és a beton nem együtt dolgozó konstrukció. A betonburkolat letöredezhet, berepedezhet, víz juthat a szerkezetbe.

A hibák közös jellemzője, hogy a sínaltp alatti alaprétegekben, alaplemezekben a felső burkolati rétegek feltárása után károsodások nem találhatóak, azok az építési vagy a használatnak és kornak megfelelő állapotukat mutatják (23. kép)



23. kép: sérülésmentes pályalemez CDM felépítményi rendszerben

Egyre inkább látszik, hogy a legkritikusabb pont közötti szempontból a szerkezetben az a sínleerősítés és a burkolat kapcsolata, valamint a burkolat és a hézagkitöltések minősége. Továbbá elmondható, hogy az aszfalt burkolatok élettartama maximum a pályaszerkezet élettartamának 60-70%-a, tehát 12-13 év.



11. ábra: közötti terhek a sínleerősítés környezetében [7]

Szegeden a bazaltbeton burkolatok tönkremenetele után megpróbálták a pályalemezzel összevasalni, illetve magát a kopóréteget is vasalással ellátni, azonban ez sem bizonyul teljesen jó megoldásnak: a vasalás hatására az ágyazási tényező megnőtt, így a szerkezet nem biztosítja kellőképpen a sínszálak terhek alatti lehajlását, egyre nagyobb mértékben látható Szegeden hullámos kopás a sínfej felületén.

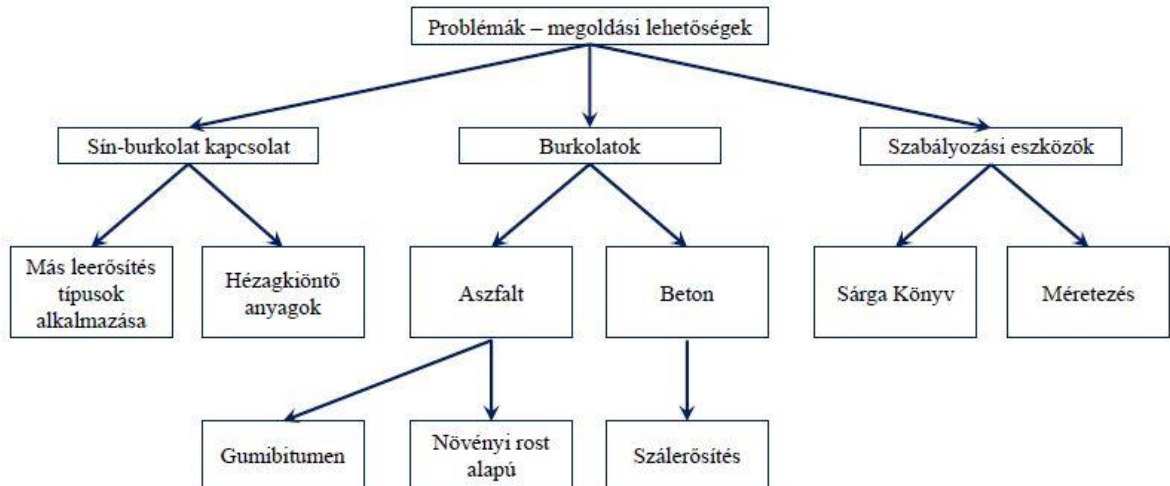


24. kép: hullámos sínkopás megjelenése Szegeden, a Damjanich utcai megállóhelyen

A beton továbbá egy kemény réteget eredményez, mely zajszennyezés szempontjából egyáltalán nem előnyös, felszíne sérülékeny, kevésbé fagyálló, só rendszerint kikezdi, elmorzsolódik a felülete. Kis felületű javításokat nem lehet elvégezni, gyakoriak a fuga problémák.

4. Megoldási lehetőségek

Az alkalmazott pályaszerkezetek bemutatása, valamint a tapasztalt hibajelenségek ismertetése után az a következtetés vonható le, hogy a problémákat három fő csoportba sorolva lehetne megoldani hosszú távon.



12. ábra: problémák és a megoldási lehetőségeket összefoglaló ágrajz

A három fő csoport, ahol a vizsgált témában a legtöbb probléma a sín-burkolat kapcsolat, a kopó-és kötőrétegbe beépített burkolatok szerkezete, minősége és a szabályozási eszközök tekintetében jelentkezett.

A sín-burkolat közötti kapcsolat a legtöbb leerősítés esetében nem megfelelő, gyakoriak a mikro, majd makro szintű elválások, melyekbe a víz könnyedén bejut és károsítja a felépítményt. Erre megoldás lehet olyan leerősítés típusok alkalmazása, ahol a sín és a burkolat között van fizikai kapcsolat.

A burkolatok alkalmazása során elmondható, hogy a hagyományos aszfaltkeverékek nem bizonyultak megfelelőnek az elmúlt években, továbbá a bazaltbeton burkolatokban is szükséges vasalat, esetlegesen más teherbíró képesség növelő rendszer alkalmazása.

A szabályozási eszközök esetében is hiányoznak azok az előírások, vagy meglévő szabványok fejezetei, melyekben a közösségi közlekedési sávokban tapasztalható üzemi-forgalmi helyzethez alkalmazkodó pályaszerkezetek javaslat szinten megtalálhatóak, esetlegesen méretezési kérdések megválaszolására alkalmas munkarészek is rendelkezésre állnak.

4.1. Szabályozási eszközök

A közösségi közlekedési sávok (tömegközlekedési sávok) kultúrája Szegeden a 2000-es évek elejére nyúlnak vissza, de Budapesten is megtalálhatóak a korábban már ismertetett helyeken. Ezeket a sávokat a meglévő forgalomtechnikai eszközökkel jól meg lehet határozni a napi közlekedésben, azonban önálló forgalomtechnikai, de a legfontosabb jelen témában, műszaki szabályozása az alkalmazható pályaszerkezetekkel kapcsolatban hiányzik. Az Útügyi Műszaki Előírásokban találhatóak vonatkozó részek a buszsávok kialakítására, azonban ez megegyező a közösségi közlekedési sávokkal: itt megjelennek a trolibuszok és a villamosok is, mint eltérő közlekedési rendszerek. A jelenleg hatályos, elsőszámú hazai közúti vasúti előírásnak tekinthető BKV Sárga könyv sem tartalmaz utalást ilyen, közlekedési rendszerek közötti átjárhatóságot biztosító műszaki megoldásra, sem a felépítményi kialakítás, sem a javasolt peronméretek, sem az űrszelvény tekintetében.

A nyugat-európai közlekedési trend hatására hazánkban is elkezdtek megjelenni a különböző közlekedési rendszerek közötti átjárhatóságot biztosító műszaki megoldások. Ezt biztosítja például a kerékpárok szállíthatósága a vonatokon, de a Hódmezővásárhely és Szeged között megvalósuló tram train üzem is markáns példája ennek. Utóbbi vasút-villamos rendszer esetében a tervezés folyamán sok problémát okozott az, hogy Magyarországon még nincs ennek az átjárhatóságot biztosító rendszernek műszaki előírás rendszere, mely alapján a tervezést, építést és üzemeltetést végre lehetne hajtani. A közösségi közlekedési sávok esetében a hazai fenntartási és üzemeltetési tapasztalatok már rendelkezésre állnak, elegendőnek is kell, hogy legyenek ezen közös használatú felületek tervezési paramétereinek pontos lefektetéséhez, ezzel feloldhatók lennének például a közúti és vasúti pályaszerkezetek és azok méretezése között tapasztalható inkompabilitások.

Magyarországon jelenleg négy városban található közúti vasúti üzem: Szeged mellett Budapesten, Debrecenben és Miskolcon. Budapesten a BKV Zrt. által kiadott Sárga könyv szabályozza a közúti vasúti üzemek műszaki paramétereit, ez az előírás kiterjed a pályatervezéstől építésen át a felügyeletig, karbantartásig. A vidéki nagyvárosokban azonban nincs saját műszaki előírás rendszer, az egyes közúti vasúti vállalatok saját előírásként a Sárga könyv és különböző MÁV utasítások szempontrendszerét követik. A jövőben tervezett fejlesztések előtt mindenképpen fontos átgondolni, hogy a Magyarországon működő közúti vasúti üzemek műszaki előírás rendszereit egységesíteni kell, vagy a Sárga könyvben található szabályozást valamennyi üzemre kötelező érvényűvé kell tenni, ezzel biztosíthatóak az

egységes tervezési paraméterek, továbbá csökkenthetők az azonos közlekedési rendszeren belüli inkompatibilitások.

Fontos és eldöntendő kérdés, hogy a közösségi közlekedési sávok pályaszerkezetei közötti vagy közúti vasúti pályaszerkezetek, ha azok burkolatát folyamatos napi üzemben autó-és trolibuszok terhelik. Korábban már bemutatásra került, hogy a tapasztalt hibák csak a pályaszerkezet felső 10-15 cm vastagságú rétegeire terjed ki, az alépítmény, az alaplemez, a sínszálak, illetve maga a vasúti felépítmény teljesen hibátlan. Ez a tény önmagában már indokolnál, hogy a kopórétegbe beépítendő burkolati rétegeket külön kell kezelni, tervezését, méretezését, építését a közúti terhelésnek, ebből kifolyólag a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírásoknak is meg kelljen feleltetni.

Amellett, hogy a magyar szabványok a felölelt témában külön a közúti, külön a vasúti pályaszerkezetek méretezésére, vizsgálatára alapos iránymutatást adnak, a közösségi közlekedési sávok témakörében hiányzó előírások elkészítésének fontos alapja lehet külföldi tapasztalatok begyűjtése, ide vonatkozó szabványok tanulmányozása és átvétele adott esetekben. Ez több okból előnyt jelenthetne:

- megismerhetőek lehetnének a külföldi felépítmény méretezési eljárások, vizsgálati előírások, melyekkel pontosítani lehetne a Magyarországon alkalmazott módszereket;
- át lehet venni olyan üzemeltetési tapasztalatokat, melyek már a hazánkban előfordult burkolati hibák kezelését, de még inkább megelőzését ismerik;
- tanulmányozhatóak lennének az adott forgalmi terhelésre javasolt pályaszerkezeti megoldások és azok építésének részletei.

Magyarországon a közlekedési szakterülettel kapcsolatos tervezői jogosultságokat a 266/2013 (VII.11.) Kormány rendelet az „építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről” szabályozza, mely különválasztja a közúti és vasúti tervezői jogosultságokat. Az egyes jogosultságok legfontosabb információit a 7. táblázatban foglaltam össze.

A vonatkozó jogosultságok vizsgálata során megállapítható, hogy az elvégezhető feladatok között egyik esetén sem említi a kormányhatározat a közösségi közlekedési sávok tervezését. A közösségi közlekedési sávok a kormányrendelet szerint közúti vasúti pályának értelmezhetőek, mely tervezéséhez „KÉ-VA” vasúti pályatervezési jogosultság szükséges. Ebben ellentmondás található, ugyanis ha egy tervező közösségi közlekedési sávot tervez, rendelkeznie kell KÉ-K és KÉ-VA jogosultsággal is.

Szakmagyakorlási terület megnevezése	Szakterület/részsakterület megnevezése	Szakterület/részsakterület jelölése	Elvégezhető feladatok	Képesítési minimum követelmény	Szakmai gyak. idő
Településtervezési szakági tervezési terület	Településtervezési közlekedési szakterület	TKö	Közlekedési vizsgálat, helyzetelemzés, értékelés.	okleveles közlekedés-építő mérnök, okleveles közlekedésmérnök	5 év
Közlekedési építmények tervezési szakterület	Vasúti építmények tervezési részsakterület	KÉ-VA	Városi közúti vasutak pályatervezése, vasúti felépítmény szerkezetek tervezése, közúti és gyalogos átvezetések	okleveles közlekedés-építőmérnök, közlekedés-építőmérnök	3 év 5 év
	Vasúti építmények közlekedésmérnöki tervezési részsakterület	KÉ-VK	Vasúti felépítmény szerkezetek tervezése	okleveles közlekedésmérnök közlekedésmérnök	3 év 5 év
	Közúti építmények tervezési részsakterület	KÉ-K	Közút, út tervezése, forgalomszabályozás.	okleveles közlekedés-építőmérnök közlekedés-építőmérnök	3 év 5 év
	Közúti építmények közlekedésmérnöki tervezési részsakterület	KÉ-KK	Közúti forgalomszabályozás, forgalomirányítás, üzemi létesítmények	okleveles közlekedésmérnök közlekedésmérnök	3 év 5 év

7. táblázat: 266/2013. (VII. 11.) Kormány rendelet vonatkozó részeinek összefoglalása [11]

A jövőben tehát javasolható egy olyan önálló dokumentum, vagy az ÚME és Sárga könyv részének megalkotása, mely részletesen foglalkozik a közösségi közlekedési sávok tervezésével, de ami a legfontosabb, definiálja, hogy mi is a közösségi közlekedési sáv.

4.2. Technológiai lehetőségek

4.2.1. Szálerősített betonok alkalmazása

A szálerősítésű betonokat az előregyártásban, hídszerkezetekben, betonszerkezetekben, alaplemezekben, padlószervezetekben, alagutakban és közúti vasutaknál a pályaszervezetekben alkalmazzák, a szintetikus szálak szerkezeti megerősítésre, és megfelelő statikai méretezés esetén képesek teljes egészében a hagyományos vasalatot (acélháló, acélszál) kiváltani, továbbá ott, ahol különösen kell védeni a közúti vasúti pályához tartozó erős-és gyengeáramú berendezéseket, gyakran használják a szálerősítésű betonokat. Ezek a szálak magból és köpenyből állnak, markáns és durva felületük biztosítja a hatékony lehorgonyzást a betonban. A mag anyaga magas E-modulusának köszönhetően kiváló húzószilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik, így a szerkezet kezdeti húzószilárdságát biztosítja, a kezdeti zsugorodási repedések megelőzhetőek. A szálak kötegelése garantálja a gyors, egyenletes, háromdimenziós eloszlást a keverés során a friss betonban, a műszál pedig megakadályozza a beton szétoztályozódását és a betonmátrix utólagos leülepedését. A szálak anyaga sav-és lúgálló, így agresszív környezet esetén is jól alkalmazható. A szálak előnye még, hogy egyszerű, de nagyon sűrű szövetű anyag, így nagyobb táblákat lehet vele kialakítani, mint az eddig megszokott vasalattal rendelkező táblák méretei (volt már rá példa, hogy több, mint 40 méteres szakasz maradt dilatációs hézag nélkül, de továbbra is problémamentes). Példaként a Tüske csarnok padlóburkolatát lehet említeni, ahol 35x60 méteres felületbe nem került dilatáció, de közúti vasúti pályák esetében mindig kialakításra kerül (4-6 méteres táblák). Általánosságban elmondható, hogy a szálak elkeverése nagyon alapos munkát igényel, így minél nagyobb mennyiség minél nagyobb felületen kerül beépítésre, annál jobban lehet elosztatni a szálakat.



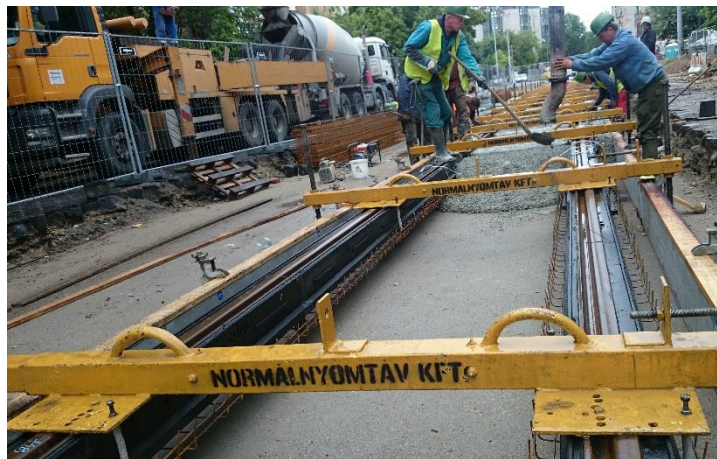
25. kép: átadott pályaszervezet a Bartók Béla úton [6]

A szálakat az alábbiak szerint lehet csoportosítani:

- mikroszálak: műszálak és üvegszálak, melyek hatékonyan csökkentik a korai zsugorodási repedéseket;
- makroszálak: fibrillált, betonacélt, acélhálót teljesen vagy részlegesen (kompozit szerkezet) tudják helyettesíteni, polimer szálak;
- textilbeton: sav-és lúgálló üveghálók, karbonhálók a betonszerkezetek elvékonyítására és megerősítésére alkalmazhatóak;
- high grade szálak: átmenet a mikro és makro szálak között, szerkezeti megerősítést biztosít, javítja a mechanikai jellemzőket.

Egy adott száltípus hatékonysága azzal jellemezhető, hogy milyen mértékben képes húzó igénybevétel hatására a betonnal együtt dolgozni, azaz milyen arányban képes húzófeszültséget a cementkötől átvenni, a szálak végső teherbírása milyen mértékig képes a betonban ébredő húzófeszültséget csökkenteni.

A mikro- és high grade szálakat közúti vasúti pályákon a kopórétegek építésénél alkalmazzák leginkább, ezek ugyanis vékony rétegek, minimális vastagságon kell a lehető legnagyobb teherbírást produkálni, illetve a makroszálakat nehezebb bekeverni a bazaltbetonba. A mikro szálak jó tulajdonsága, hogy minden esetben sikeresen csökkentik a szerkezet repedés érzékenységét (zsugorodási repedések), korai és vég stádiumban magasabb szilárdsági értékek produkálhatók. A folytonos szálhosszeloszlás nagyon jól alkalmazkodik a beton adalékanyagának folytonos szemeloszlásához. A nyers betonnak lényegesen javul az állékonysága, roskadással szembeni érzékenysége.



26. kép: kopóréteg kiöntése a Bartók Béla úton [6]

Pályalemezek esetében a makro szálak használata ajánlott, hiszen ezek nagy terhelésű pályaszerkezeti elemek. A makro szálak kiemelkedően durva, prégelt felülettel rendelkeznek, ez biztosítja a hatékony lehorgonyzását a megszilárdult betonban, míg a szál vízben oldódó

kötegelése garantálja a gyors, egyenletes, csomómentes, háromdimenziós szétoszlást a keverés során. A szerkezet repedés utáni szilárdsága jóval kedvezőbb, a makroszálak növelik a betonok ütőszilárdságát.



27. kép: pályalemez készítése a Bartók Béla úton [6]

Bartók Béla úton alkalmazott monolit közúti vasúti pályaszerkezet (CDM gumiköpenyes) rétegrendje:

- 10 cm C30/37 mikroszál erősítésű bazaltbeton kopóréteg, összevasalva a pályalemezzel;
- 30 cm C30/37 makroszál erősítésű kompozit pályalemez (makroszál 4 kg/m^3 sűrűséggel);
- sámlivasalások alkalmazása a sarkok berepedése miatt (CDM profil köré egy könnyű, hajlított acélháló lett elhelyezve kiegészítő vasalásként).

A szálak ára 2800-3000, 5000 Ft/kg értékek körül mozog általánosan (függ a típustól).



28. kép: aszfalt kopóréteg, alatta szálerősített pályalemez [6]

4.2.2. Sínkörülöntéses és kiöntéses technológiák

Az előző fejezetekben már részletesen ismertettem a sínkörülöntéses technológiák alkalmazását, melyek nagyon kedvező tapasztalatokat mutatnak a közösségi közlekedési sávokban, így ebben a fejezetben ezeket a pozitív ismereteket szeretném megerősíteni. A körülöntéses technológiák radikálisan megváltoztatták a sínrögzítés elképzeléseit, hiszen úgy érhetünk el folyamatos és rugalmas sínágyazást, hogy nem használunk sem gumielemeket és nincsenek pontonkénti leerősítések, nyomtávtartások. Mindezek mellett jelentősen csökkenti az építések során felmerülő logisztikai költségeket, hiszen rengeteg anyag esetében nem kell helyszíni tárolásról gondoskodni, továbbá egyszerűen kibontható, amennyiben valamilyen fenntartási munkát el kell végezni (síncsere).

A fenntartásmentes felépítményrendszerek megvalósítási igénye mellett a pályaépítés központi követelményeinek egyike a rezgés és zajhatások csillapítása, így különösen fontos az ágyazó anyagok rugalmassága és összenyomhatósága. A kiöntőanyag-betoncsatorna, valamint a kiöntőanyag-sínszál megfelelő együttdolgozását (tapadását) előre felhordott alapozóréteg biztosítja. Az idő bebizonyította, hogy sínkörülöntéssel épülő pályaszerkezet tartós, üzemeltetése során különösebb probléma nem jelentkezett, fenntartása az üzemeltetők elmondása alapján egyszerű, szinte beavatkozás mentes. Vízbekjutás és az ebből származtatható korrózió nem lép fel, ez alapján a pálya vízszigetelése kiváló. A rendszer rezgés-és zajcsillapítási szempontokból rendkívül hatékony. Életciklusát tekintve rendkívül előnyös, a kiöntőanyag még hosszú évek után is stabilan tartja a vágányt, megfelelő vízzáróságot biztosít.



29. kép: Phoenix sínrendszer, beton kamrakitöltő elem és rugalmas körülöntés

A kiöntőanyagot több módon is lehet megtakarítani: alkalmaznak kamrakitöltő elemeket (beton), illetve PVC csöveket is. Előbbi továbbá rendkívül előnyös a rezgő rendszer

szempontjából, hiszen további súlyt ad a sínzálnak és a leerősítésnek, így a rendszeren belül nagyobb tömeget ad.



30. kép: Vignol sín és kiöntéses leerősítés, kiöntőanyag megtakarításra alkalmas PVC csövekkel

Budapesten és Szegeden többször alkalmazták már olyan helyeken is, ahol gond volt a rugalmas és folytonos ágyazású felépítményi szerkezetek hézagkitöltő modifikált bitumen anyagával, ezek különösen érzékenyek a hőmérsékleti változásokra a tapasztalatok szerint, valamint 3-4 év múltával előregednek, felkeményednek, kitöredeznek.

Összességében a sínkörülöntéses rendszerek a következő alkalmazási előnyökkel rendelkeznek a többéves tapasztalatok alapján:

- kimagaslóan ellenáll olyan helyszíneken, ahol rendkívül vegyes a forgalom (villamos, nehéztehergépjárművek, autóbuszok, személygépjárművek);
- gyorsított kivitelezési idő a kötési és kikeményedési gyorsaságnak köszönhetően;
- költségmegtakarítás a rövidebb útzárak, a gyorsabb kivitelezésnek és a hosszú távú fenntartásmentességnek köszönhetően;
- elektromos szigetelése nagyon jó;
- 30 év feletti üzemidő.

4.2.3. Aszfalt modifikáció

4.2.3.1. *Gumibitumen*

Több éves kutatás alapozta meg a gumiőrlemények és a bitumen közös, útépitési alapanyagként való felhasználhatóságának biztosítását. A gumibitumen gyártásával és felhasználásával a gumibroncs hulladék környezetbarát hasznosítása és kiváló minőségű utak építése válik lehetővé. A gumibitumenből készült utak a hagyományos bitumenekhez képest legalább 50 %-kal tartósabbak, ráadásul újra hasznosított gumibroncsok jelentősen hozzájárulnak a környezettudatos gondolkodásmód elterjedéséhez a közlekedésépítésben is [14]. Az ilyen költséghatékony és tartós utak kiváló tapadást biztosítanak az útburkolaton, így javítják a közlekedés általános biztonságát, ennek jelentősége különösen esős időben nagy. A gumibroncsok anyagából gyártott gumiőrlemény és bitumen felhasználásával a szakemberek olyan speciális kötőanyagot tudtak kifejleszteni, melyet nem az útépités helyszínén kell keverni. Korábban probléma volt, hogy a gumiszemcsék gyorsan kiüledtek a bitumenből, ezért kellett a helyszínén keverni, hogy azonnal felhasználható legyen. A gumibitumen kémiaiilag stabilizált állapotban már szállítható, használatával a következő pozitív tulajdonságok nyerhetők az aszfalt keverékekben:

- hosszabb élettartam, anyagfáradással szembeni állóképesség nagyobb;
- jobban terhelhető, a nyomvályúsodás jelentős mértékben csökken;
- kevésbé repedezik;
- kiváló tapadás a gumibitumen és a kőváz között (kátyúk nem tudnak kialakulni);
- alacsonyabb vízfelhasználás a gyártás során;
- környezeti hatásokkal szemben jobb állóképesség;
- alacsonyabb fenntartási erőforrás szükséglet;
- kevesebb szén-dioxid és káros anyag kibocsátás;
- lényegesen kisebb menetzaj;
- alacsony és magasabb sebesség tartományban is jelentősen csökkenthető a fékút.

Magyarországon már több helyen is kerültek próbaszakaszok kialakításra gumibitumen alapanyagú aszfalt kopórétegekkel, a tapasztalatok igen pozitívak:

- Királyegyháza-Sellye 650 méter hosszban (kopórétegben);
- Cigánd-Pécin között 3950 méter hosszban (kopórétegben);
- Újszilvás-Tápiógyörgye-Jánoshida 8400 méter hosszban (kopórétegben);
- villányi elkerülő út 4500 méter hosszban (teljes aszfalt pályaszerkezetben).

A gumibitumennel gyártott aszfalt keverékek tehát igen jó tulajdonságokat mutatnak, melyek vizsgálatokra érdemessé teszik őket azokban a közösségi közlekedési sávokban, ahol a különleges geometria és a közúti terhelés miatt fokozott teherbíró képességre van szükség.

4.2.3.2. Növényi rost alapú modifikáció

A nagyobb forgalom, nagyobb tengelyterhelés (növekvő nehézgépjármű forgalom arány), a klímaváltozás (szélsőséges telek és nyarak) és új aszfaltburkolatok kifejlesztése szükségessé tette jobb minőségű bitumenek és különféle aszfalt összetétel (vagy minőség) módosító anyagok használatát az aszfalt gyártásban. A mai modern utakkal szembeni elvárások:

- legyen biztonságos: nagyon jó tapadás, jobb láthatóság, minimalizálja az aquaplaning előfordulását;
- legyen tartós: kiváló élettartam, nagy deformáció ellenállás, meggyőző kopásállóság;
- legyen sokoldalú: autópályák, autóutak, közutak, parkolók, akár repülőtereken is használható legyen;
- legyen megbízható: bevált keverékkonceptió, biztonságos és minőségi terítés;
- legyen gazdaságos: a rendelkezésre álló pénzeszközök fenntartható felhasználása, kevesebb erőforrás szükséges a fenntartáshoz, tartalékkapacitással bíró építési mód;
- legyen előremutató: SMA LA alacsony zajszintű zúzalékvázás masztixaszfalt, vékony és nagyon vékony kopó-és kötőrétegek.

Az aszfaltoknak a modern közlekedésben biztosítaniuk kell a kismértékű repedés képződési hajlamot, zajesökkenést, vezetési komfortot és újrafelhasználhatóságot.

A különböző negatív hatások a közúti burkolatok idő előtti elhasználódásához vezetnek, jellemző, hogy az igen terhelt útszakaszokon hamar jelentkezik szignifikáns nyomvályú képződés, repedések és kátyúk jelennek meg. Az aszfaltok teljesítményének növelésének egyik módja a modifikált bitumenek használata, a különböző modifikáló szereket a következő táblázat tartalmazza.

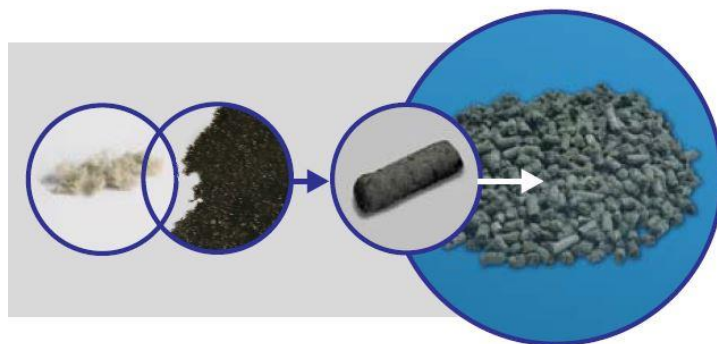
Polimerek osztályozása		
<i>Elasztomerek</i>	<i>Plasztomerek</i>	<i>Duroplasztok</i>
sztiroil-butaidén-sztiroil	ploetilén	poliepoxid
sztiroil-butaidén-kaucsuk	polipropilén	poliészter
trans-poliokténamer-kaucsuk	etilén-vinil-acetát	poliuretán
újrahasznosított gumi		

8. táblázat: polimerek osztályozása

A Magyarországon használt modifikálószerekre jellemző, hogy egyszerre csak szűk tartományban javítja az aszfaltkeverékek különféle tulajdonságait [13]. A modifikált kötőanyagok:

- csak nagyobb mennyiségekben lehet beszerezni, viszont tárolásra nem alkalmas;
- általánosan drágák, de meg tudnak térülni;
- ellátása bizonytalan, gyakori a hirtelen árnövekedés.

Az utóbbi években egyre inkább terjednek a növényi rost alapú aszfalt teljesítmény javító szerek az útépítésben. A növényi rostok szálas szerkezettel rendelkeznek, így rugalmasak, magas szakítóellenállással rendelkeznek. Kapilláris szerkezetűek, folyadékfelvételre és továbbításra képesek, így segítve a szerkezet vízelvezetését. Fizikailag (fibrillált felszín, erős fizikai kapcsolódás, térháló képzés), kémiaailag jól képesek kapcsolódni az aszfalt alkotóihoz.



13. ábra: növényi rost alapú pelletek modifikált aszfalt keverékekhez [12]

A növényi rost alapú termékek az összes olyan hengereltaszfalt típusnál alkalmazhatóak, ahol a rostok térháló szerkezetének kialakulására és kötőanyag abszorbeáló, ill. felületnövelő vagy bitumen lefolyást gátló adalékra van szükség. Az általános alkalmazási területen belül alkalmazása feltétlenül szükséges a zúzalékvázás masztix aszfaltoknál és a vízáteresztő (drain) aszfaltoknál:

- SMA kopóréteg és kötőréteg,
- zajcsökkentő SMA kopóréteg,
- recycling aszfalt,
- LEA alacsony hőmérsékletű aszfalt,
- porózus aszfalt (PA),
- félrideg burkolat,
- vékonyrétegű aszfalt.

A növényi alapú modifikálásnak köszönhetően egyenletes, homogén elkeveredés érhető el, nincs kötőanyag lefolyás, stabilizált és rugalmas keveréket kapunk, hosszabb élettartammal.

Svédországban, Bromma városában 2016-ban alkalmaztak közúti vasúti pályán burkolatként növényi rost alapú modifikált aszfaltot. Itt 4 cm vastagságban AC8 aszfalt keveréket terítettek, mely 70/100 bitumennel és 0,3% + 0,9% növényi alapú modifikáló szerrel készült (29. kép)



31. kép: közúti vasúti pályaszerkezet aszfalt burkolattal (Bromma, Svédország) [12]

A növényi rost alapú aszfalt keverék modifikálás hosszú távú előnyei:

- jobb ellenállás repedésekkel szemben alacsonyabb hőmérséklet esetén;
- jobb ellenállás kifáradással és deformációval szemben magas hőmérsékletek esetén;
- öregedési jelenségek javulása.

Az ilyen aszfalt keverékek beépítése is rendelkezik számos pozitív tulajdonsággal:

- homogén aszfaltkeverék,
- pellet feloldódása keverési idő meghosszabbodása nélkül,
- az aszfalt nem válik szét a tárolás és szállítás során,
- az aszfaltkeverék nem ragad rá a szállítójármű rakfelületére,
- szokásos aszfalt finiserekkel és hengerekkel bedolgozható,
- nagymértékben homogén aszfalt felületet képez,
- nem reped, nem mászik,
- jól tömöríthető, kézi bedolgozás is lehetséges, de nehézkes.

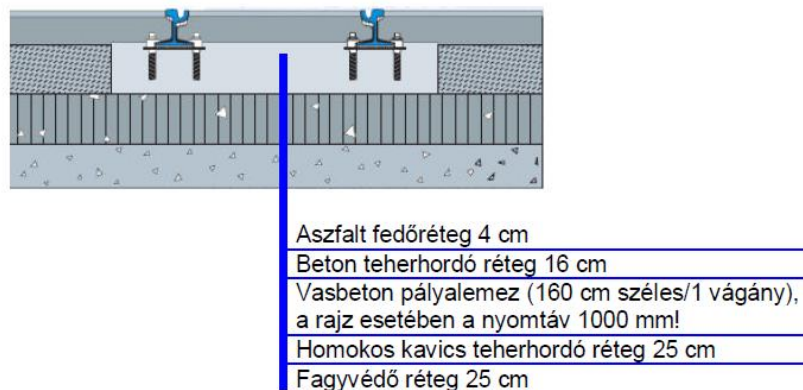
Ezek az aszfalt keverékek kielégítik a közösségi közlekedési sávok burkolataival szemben felmerülő igényeket: nyomvályúsodás és repedés (kátyúsodás) szempontjából kedvező eredményeket mutat, a sín-burkolat kapcsolatban is hatékonyan működhet. Magyarországon még nem alkalmazták közúti vasúti pályák esetében, így a jövőben hasznos lenne, ha ki lehetne próbálni.

4.2.4. További közúti vasúti pályaszerkezeti rendszerek

4.2.4.1. Datwyler RCS Phoenix típusú rendszer

A Rail Comfort System (RCS), vagy korábbi nevén Freiburg rendszer, Magyarországon is érvényes megfeleléségi bizonyítvánnyal rendelkezik. Szegeden a nagyprojekt keretein belül először a Kossuth Lajos sugárúton és a Boldogasszony sugárúton is füvesített vágány építését tervezték, ezt az RCS rendszerrel szerették volna megvalósítani. A Freiburg rendszerű vágány több német városban is épült már az elmúlt 10 évben, mely nemzetközi szabadalmi védelem alatt áll Németországban, Svájcban, Csehországban, Magyarországon és Romániában. A rendszert a Phoenix AG és a Freiburger Verkehrs AG 2000-ben kezdte el kifejleszteni. Freiburg-ban az első ütemben, 2000 júniusa és 2003 júniusa között összesen 12400 m hosszú RCS típusú vágány épült.

Az RCS – korábbi nevén Freiburg rendszer – felépítményszerkezet ágyazatnélküli megoldás, melynek két alapvető változata létezik: az egyik a burkolt, közúti forgalmat is lebonyolító megoldás (pl. aszfalt burkolattal), a másik a zöld, azaz füvesített vágány. Burkolt vágány esetén 4 cm aszfalt kopóréteget alkalmaznak, mely a 16 cm teherhordó beton alaprétegre fekszik fel. A vasbeton pályalemez 1 vágány esetén 160 cm széles, ami alatt 25 cm homokos kavics és 25 cm fagyvédő réteget javasolt alkalmazni. Ezen rendszer alkalmazása esetén nincs szükség fuga alkalmazására a sínszál és az aszfalt burkolat között, azok között közvetlen kapcsolat van. A burkolat készülhet hengerelt vagy öntött aszfaltból.



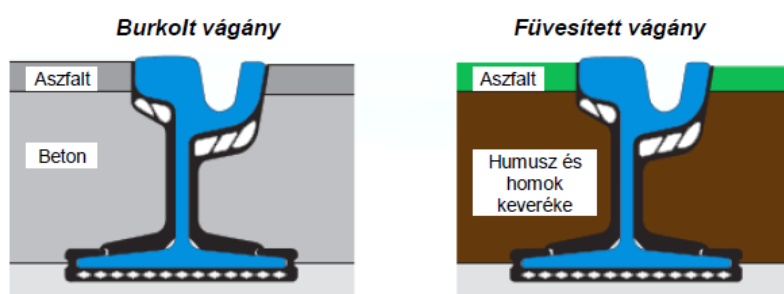
14. ábra: aszfalt burkolatú vágány kialakítása vasbeton pályalemez alkalmazásával [7]

Megfelelő ágyazó profilgumik többféle vályússín-rendszerhez léteznek. A sínágyazás egy talp-és két oldalsó profilgumival valósul meg. Ezek a profilgumik oldalirányban lehetővé teszik a 45 fokos közúti terhelés egy anyagban történő terjedését (aszfalt és beton réteg), függőlegesen pedig a vasúti járművek hatására megfelelő mozgást biztosítanak (1,5 mm).

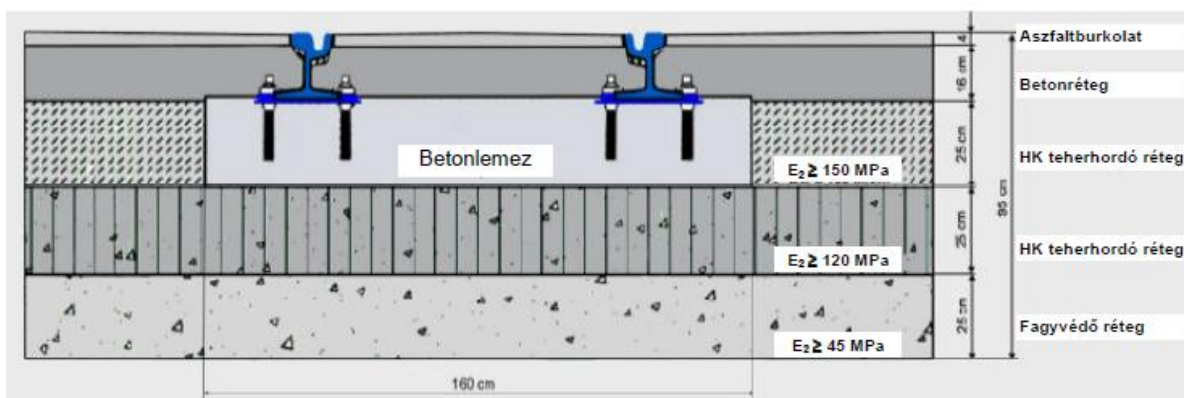
Erős napsütéses nyári napokon az RCS vágányok sínszálai 20-30 °C-kal kevesebb értékre melegednek fel, mely kedvező a sínszálban keletkező hőmérsékleti feszültségek szempontjából.

Maga a felépítmény fajlagos árban a zúzottköves és a betonlemez vágányok között van, a CDM-hez képest kb. 20 %-kal olcsóbb.

Az RCS felépítmény burkolt esetben a terhelésre és az altalajviszonyokra méretezett vasbetonlemez, míg a füvesített kialakítás esetében a két, szintén méretezett vasbeton hosszgerenda adja az alátámasztást. A két sínszálat nyomtávartó rudak kötik össze, egyenes vágányban ezek 3,0 m távolságra, míg ívekben 1,5 méterre helyezkednek el egymástól. A nyomtávartó rudak minden esetben burkoltak, az alkalmazandó leerősítések típusa nincs megkötve. A sínleerősítések távolsága 1,5 m.



15. ábra: sínszálak ágyazása gumiprofilokkal [7]



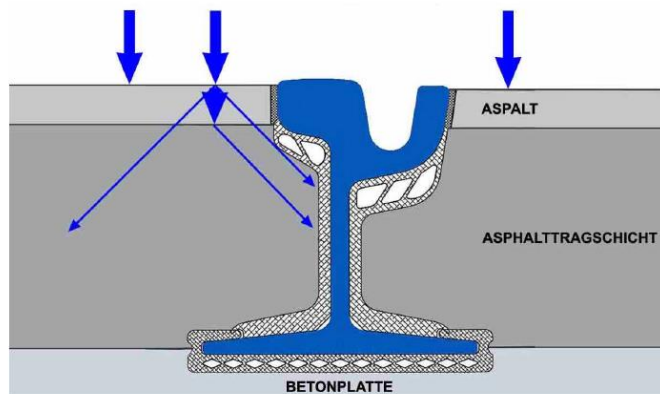
16. ábra: aszfalt burkolatú pálya kialakítása [7]

A Phoenix az RCS felépítményhez az alábbi profilokat és kiegészítő anyagokat szállítja:

- kiváló minőségű, öregedésálló, jó villamosszigetelő anyagból készült, rugalmas sínalpágyázó gumik,
- oldalsó profilgumik, a nyomtávartó rudak számára kialakított kivágásokkal,
- nyomtávartó rudakhoz szigetelő köpenyek,
- egyedi profilok kitérők, keresztezések és víztelenítő dobozok számára,
- Phoenix G 2000 ragasztó és Phoenix G 500 zsirtalanító anyag,
- Phoenix FP 75 tömítőpaszta és Phoenix FG 35 felület alapozó anyag.

A kivitelezés első lépéseként a sínszálakat felszerelik a nyomtávartó rudakkal. Az ágyázó gumiprofilok 15-20 méteres hosszúságban, tekercsben érkeznek raklapon a helyszínre. Ezeket

a beépítés előtt +15 °C felett hőmérsékleten, 10 órán keresztül, támaszokra téve kell pihentetni, az alakváltozások megszüntetése érdekében. A sínek ragasztási felületeinek száraznak, szennyeződés-és zsírmentesnek kell lenniük. Ezért a sínek és a profilok érintkezési felületeit G 500 tisztító anyaggal át kell kenni. A ragasztási folyamat során a ragasztónak és a ragasztandó anyagoknak legalább +5 °C hőmérsékletűnek kell lenniük. A sínekre először felhelyezik a talpprofil, a két szélét felfogatva a talpra. A homlokfelületekre tömítő pasztát hordanak fel, az oldalprofilokat benyomják a sínkamrába és a nyomtávtartó rudak csavarjainak helyeit feljelölik az oldalprofilra. A csavaranyák számára a lyukakat 55 mm átmérőjű acélsablon segítségével befúrják az oldalprofilokba. Igény esetén előfűrt oldalelemeket szállít a gyártó. A síngerincet és az oldalprofilok függőleges síkjait bekenik ragasztóval. A talp-és oldalprofilok, valamint a sínfej és az oldalprofilok találkozási helyeit, illetve az oldalprofilok csatlakozását pasztával tömítik.



17. ábra: RCS rendszer közötti igénybevételei [7]

A nyomtávtartó rudakra felhelyezik a szigetelő köpenyeket, kívül elhelyezik a csavarfedő elemeket, a tömítések szintén pasztával történnek. A ragasztó-és tömítőanyagok 10-12 óra alatt teljesen megkötnek, majd magasságilag irányra szabályozva a vágányt, betonblokkokra fektetik. Ezután felszerelik a sínleerősítéseket, megtörténik a vasbeton gerendák, illetve a vasbeton lemez betonozása. A betongerenda, illetve a betonlemez minősége C30. A betonozás felső síkjának a sántalpanyázó gumi oldalhornyának magasságilag kell érnie. Ezzel biztosítható, hogy a sántalpgumi teljes szélességében alóöntve legyen, s ezzel a folytonos sántalpfeltámasztás megvalósuljon. A beton megszilárdulása után a leszorító csavarokat meghúzzák, ezután elkészíthető a vágányzóna burkolat a hézagkiöntésekkel, illetve a füvesítés.

A rendszer minimális fenntartási igényű. A sínszálak helyzetének szabályozhatósága az alkalmazott leerősítés függvénye. A síncsere vagy a leerősítő rugó cseréje füvesített vágány esetében igen egyszerűen végrehajtható. Szilárd burkolatú vágányban annak bontása szükséges. A fenntartási munkák végzése során be kell tartani a cég által készített fenntartási és felújítási

tájékoztatóban leírtakat. Az oldalprofilok a forró bitumen hőjének ellenállnak. Ezt 240 °C-os bitumenbe 4 percig tartó bemelegítéssel vizsgálták, s sem látható felületi elváltozást nem tapasztaltak a lehűlés után, sem pedig a fizikai jellemzők jelentősebb változását nem mérték. Így szilárd burkolat csatlakozó fugakiöntései egyszerűen javíthatók.

A sínkopások villamos feltöltő hegesztéssel javíthatók. Ez a művelet nem az ágyazó oldalprofilok közvetlen környezetében történik. Sínörés bekövetkezte esetén 2x1 méteres környezetét ki kell bontani, a profilokat fel kell tépni a ragasztásból és ezen a hosszon szabaddá kell tenni a sánt. A hegesztés végrehajtása a megszokott módon történik. Ha a hegesztési formaelemek mérete és felszerelése megkívánja, a sántalpat meg kell emelni. Ez nagyobb bontási hosszat is megkívánhat. A kész hegesztés 5 mm-nél vastagabb egyenetlenségeit és az éles éleket le kell csiszolni. A súlyosan sérült profilt cserélni kell, a megfelelő állapotú ismét visszarakasztható. A ragasztás ragasztó anyaggal, a tömítés pasztával történik.

Az RCS rendszer előnyei:

- a sín folyamatos rugalmas alátámasztása,
- Ri60, Ri59, Ri53, NT1 és G35 vályús sínekhez léteznek ágyazó profilok,
- a hagyományos kialakításokhoz képest magasabb hatásfokú zaj-és rezgéscsillapítás,
- beállítható rugalmassági viszonyok,
- valamennyi ismert vágányszerkezet esetében alkalmazható,
- fugakiöntés nélkül is alkalmazható,
- az előszerelés akár telepen, akár a helyszínen is elvégezhető,
- kitérőben is alkalmazható,
- a vágány hosszú üzemi élettartama miatt költségtakarékos,
- a gumiprofilok nem vesznek fel vizet.

4.3. Méretezési kérdések

4.3.1. Vasúti pályaszerkezetek

A közúti vasúti pályaszerkezetek méretezésével általánosságban a vasúti pályaszerkezetek szerkezeti kialakításával foglalkozó szabványok és jogszabályok foglalkoznak, a közúti pályaszerkezetek kialakításával kapcsolatban is különálló szabályrendszer áll rendelkezésre.

A közúti vasúti rendszerek felépítményeinek kialakítását, méretezését szabályozó előírások:

- MSZ EN 13146-1:2012 Vasúti alkalmazások. Vasúti pálya. A sínrögzítés vizsgálati módszerei
 1. rész: A rögzítőerő hosszirányú összetevőjének meghatározása;
 2. rész: Az elcsavarodási erő meghatározása;
 3. rész: A lökőerő csillapításának meghatározása;
 4. rész: Az ismétlődő terhelés hatása;
 5. rész: A villamos ellenállás meghatározása;
 6. rész: Jelentős környezeti tényezők hatásai
 7. rész: A szorítóerő meghatározása;
 9. rész: A merevség meghatározása.
- MSZ EN 13481 Vasúti alkalmazások. Vágányfektetés. A sín rögzítésének követelményei
 1. rész: Fogalom meghatározások;
 2. rész: Rögzítés betonaljhoz;
 5. rész: Rögzítés betonlemezhez felületre fektetéssel vagy horonyba ágyazással.

A közúti vasúti pályaszerkezetek burkolataival szemben támasztott követelmények [8]:

- a közúti vasúti pálya burkolatának minimálisan a csatlakozó közúti burkolat minőségi szintjét kell biztosítani a szilárdság, a tartósság, a csúszásellenállás, a külső megjelenés stb. tekintetében;
- az útburkolat a közúti vasúti pálya sínszálaihoz hézagmentesen, terhelt és terheletlen állapotban egyaránt szintkülönbségek nélkül csatlakozzon;
- ideális állapotban tekinthető esetben a burkolat roncsolódásmentesen bontható legyen a közúti vasúti pálya bizonyos fenntartási műveleteinél;
- a közúti vasúti pályatest burkolata szerkezetében, ágyazási viszonyában, a sínszálakhoz történő kapcsolódás módjában biztosítsa a sínszálakról, illetve az alapteresttől induló rezgések minél hatékonyabb csillapítását és a járművektől származó zajok elnyelés útján való mérséklését.

A beton felépítményekkel szemben állított követelmények [8]:

- a beton felépítmény-szerkezetnek lehetővé kell tennie a sínleerősítések gyors és tartós rögzítését, amely a felső betonréteg szerkezetétől és a pályalemez felszínének geometriai kialakításmódjától függ;
- a felépítmény szerkezetek egyes típusai esetében a sínleerősítés mellett a beton tartószerkezetnek is aktív szerepet kell vállalnia a vágány nyomtáv tartásából;
- a beton felépítmény-szerkezetnek vízszintes és függőleges irányú stabilitással kell rendelkeznie;
- a felépítmény betonelemeinek szerkezetét és anyagminőségét, továbbá az alépítmény ágyazási viszonyát úgy kell megválasztani, hogy a terhelések hatására fellépő igénybevételek a vasbeton szerkezetek előírásainak (szélső szál, feszültségek, repedés korlátozás vonatkozásában) megfeleljenek;
- a pályaszerkezetet úgy kell kialakítani, hogy a betonlemez együttes dolgozása biztosítható legyen;
- a pálya-jármű kölcsönhatásban kialakuló zaj-és rezgéshatások csökkentése céljából a felépítmény betonszerkezetű elemeinek tömegét a pályaszerkezet rugalmassági viszonyainak és az üzem jellemzőinek függvényében kell meghatározni,
- a betonszerkezetnek lehetővé kell tennie az alépítmény deformációjának hatására bekövetkező süllyedések kijavítását;
- előregyártott betonelemek alkalmazása esetén a szerkezet méreteinek és kialakítás módjának a szállítás, valamint az építés igényeit is ki kell elégítenie;
- a kivitelezési idő lerövidítése érdekében a betonelemek szerkezetét úgy kell kialakítani, hogy beépítésük magas fokon gépesíthető legyen;
- a felépítményi betonelemek felületének érdesítése tegye lehetővé a szerkezet hatékony tisztítását.

Ezek a szerkezetek csak akkor tekinthetők feladatuk elviselésére alkalmasnak, ha teherbírásuk és tényleges igénybevételük ismeretében megállapítható, hogy igénybevételük kisebb a teherbírásnál, azonban a közúti járművek dinamikus és statikus terheire a megfelelést nem teszik feltétellé. A vasúti felépítményeket minden körülményt figyelembe véve három irányból érik hatások, eszerint meghatározunk [8]:

- függőleges erőket: a járművek kerekei a sínben érintkezési nyomó, valamint hajlító-és nyírófeszültséget okoznak;

- oldalerőket: a járművek kerekeinek nyomkarimái, elsősorban ívekben, de egyenesekben is hajlításra igénybe veszik a sínt;
- hosszirányú erőket: fékezett kerekek, hőmérsékleti változások és a hosszúsínes, hézag nélküli vágányokban húzó-és nyomófeszültséget ébresztenek.

A vasúti terhelések esetében csak az álló járművek függőleges kerékterhét ismerhető elég pontosan, a mozgásban lévő, különösen a gyorsan mozgó járművek kerekei által a felépítménynek átadott függőleges erőket csak közelítően adható meg. Az oldalerőket kísérleti mérések alapján ugyancsak közelítően ismerhetőek, míg az indításkor és fékezéskor fellépő hosszirányú erők kicsinységük miatt elhanyagolhatók. A dilatációk erők a hézag nélküli vágányon viszonylag pontosan, a hézagos klasszikus vágányon csak közelítőleg ismeretesek. A felépítményben keletkező igénybevételek számításakor nem várható el olyan pontosság, mint más mérnöki szerkezetek esetén. A vasúti felépítmények számításánál a számított eredmények összehasonlítandóak a mérési eredmények középértékével, de az eltérő járművek, eltérő sínrendszerek, leerősítési távolságok és más paraméterek hatásainak számított értékeit is össze kell vetni egymással. A vasúti járművek nem követik pontosan a vasúti vágányok tengelyét, mind egyenesben, mind ívekben káros mozgások fordulhatnak elő, melyek következtében a vasúti járművek statikus súlyukon felül a felépítményt további erőhatásokkal támadják. A pályában véletlen jelleggel előfordulnak benne hibák, melyek lengésbe hozzák a vágányt, ennek frekvenciája a sebesség függvényében növekszik. A járművek lengései a vágány felé ütések alakjában jelentkeznek és növelik annak igénybevételét. A vasúti járművek okozta teljes erőhatás három összetevőből áll [8]:

- statikus kerékterhelés,
- kvázi-statikusan kerékterhelés,
- esetleges lengési kerékterhelés.

A közúti vasúti pályaszerkezetek kialakítása során az adott vonalon előforduló mértékadó jármű konkrét terhelési adatai alapján, illetve a fellelhető előírások szerint kell a méretezéseket végrehajtani.

Az Országos Vasúti Szabályzat II. kötete a közúti vasúti pályák tervezésére, építésére, fenntartására és felügyeletére vonatkozó előírásokat foglalja össze:

- a statikus tengelyterhelés 150 kN;
- a felépítmény szerkezete a fejlesztési sebességre alkalmas legyen, vagy azt gátló megoldást ne tartalmazzon;

- új felépítményi rendszer csak a főbb szerkezeti elemek teljes körű kidolgozottsága mellett, az új szerkezetre vonatkozó alkalmazási engedély alapján vezethető be;
- az üzemi igénybevétel és a tengelyterhelés felépítménytervezési szempontjait szabvány szerint kell figyelembe venni.

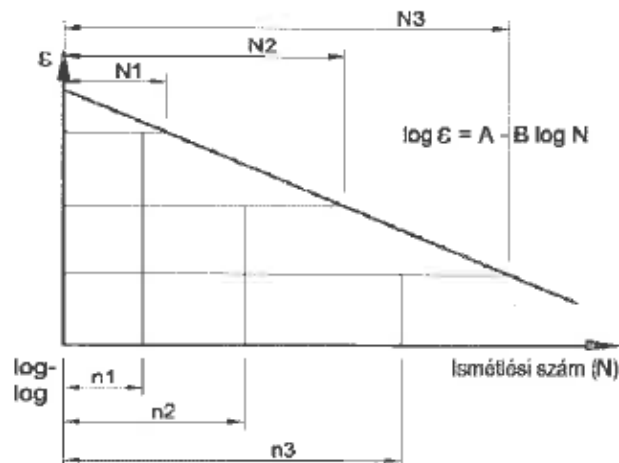
A hazai megfelelőség vizsgálatokban a következő laboratóriumi vizsgálatokat szokták elvégezni a felépítményi szerkezetek esetében:

- függőleges terhelési vizsgálat,
- ferde terhelési vizsgálat,
- vízszintes terhelési vizsgálat,
- csavaró terhelési vizsgálat,
- hosszirányú eltolási ellenállás vizsgálat.

A hazai megfelelőség vizsgálatokban a kísérleti eredményeket számítási munkarészekkel is igazolni kell.

4.3.2. *Aszfalt burkolatú közúti pályaszerkezetek*

A jelenlegi gyakorlat elméleti alapjai a pályaszerkezeti anyagok viselkedésén és a forgalmi terhelések közötti alapvető összefüggésen alapul, melyet a Wöhler-féle fáradási egyenes (Wöhler, 1866) és a Miner-féle kumulatív fáradási törvény (Miner, 1945) ad meg.



18. ábra: A Wöhler-féle fáradási egyenes [9]

A jelenleg érvényes méretezési módszer új aszfalt pályaszerkezetek esetében, mint szabványjavaslat, több éves előkészítő munka után 1992-ben jutott a végleges tervezett állapotába. A forgalomban résztvevő eltérő terhelésű tengelyek áthaladási számát a méretezésnél a tervezési élettartam alatt a 100 kN terhelésű egységtengelyek áthaladási számára kell átszámítani. A méretezési egységtengely áthaladási számának meghatározásához:

- az autóbusz (egyes és csuklós),
- a nehéz tehergépkocsi (össztömeg nagyobb, mint 7,5 tonna),
- a pótkocsis tehergépkocsi,
- a nyerges tehergépkocsi,
- speciális jármű,
- összevont járműkategóriákat

kell figyelembe venni. A kisebb terhelést okozó járművek (például a személygépkocsik) rongáló hatása a pályaszerkezet tönkremenetel szempontjából elhanyagolható, ezért azok száma a méretezés során nem kerül figyelembevételre. A tervezési forgalom számítása összevont járműosztályok alapján:

$$TF = z * 1,25 * 365 * t * r * s * f_N * (\dot{A}NF_a * e_a + \dot{A}NF_n * e_n + \dot{A}NF_p * e_p + \dot{A}NF_{ny} * e_{ny})$$

ahol,

- TF a tervezési forgalom [egységtengely áthaladás, db.]
- z az egyes 115 kN, a kettős 180 kN és az útkímélő 190 kN tengely többlet fárasztó hatását figyelembe vevő szorzó, értéke 1,5
- 1,25 biztonsági tényező
- t tervezési élettartam [év]
- r a keresztmetszeti forgalom irányonkénti számítására használt iránysszorzó
- s a sávsszorzó az egy irányban vezető forgalmi sávok száma
- f_N összevont járműosztály forgalomfejlődési szorzója, az út forgalomba helyezési évétől számított $t/2$ évre
- $\dot{A}NF_i$ az i-edik járműosztály átlagos napi forgalma [jármű/nap]
- e_i az i-edik

A hazai hálózatra a tervezési forgalmat a méretezési módszer kidolgozásakor öt tervezési osztályra osztották és látták el az alábbi jelöléssel, illetve megnevezéssel:

- A jelű: nagyon könnyű forgalmi terhelési osztály, TF=30 ezer és 100 ezer ET között;
- B jelű: könnyű terhelési osztály, TF=100 ezer és 300 ezer ET között;
- C jelű: közepes forgalmi terhelési osztály, TF=300 ezer és 1 millió ET között;
- D jelű: nehéz forgalmi terhelési osztály, TF=1 millió és 3 millió ET között;
- E jelű: nagyon nehéz forgalmi terhelési osztály, TF=3 millió és 10 millió ET között;
- K jelű: különösen nehéz forgalmi terhelési osztály, TF=10 millió ET és 30 millió ET;
- R jelű: rendkívül nehéz forgalmi terhelési osztály, TF>30 millió ET.

A tervezési élettartam a forgalomba adás időpontjától számított azon időtartam, amelynek végére a pályaszerkezet leromlása már olyan fokú, hogy megerősítését teherbírasi okokból elé kell irányozni. A tervezési élettartam a különböző úttípusok szerint:

- autópályák, kiemelt jelentőségű önkormányzati főutak: 20 év;
- országos főutak és önkormányzati főutak, gyűjtőutak: 15 év
- országos és önkormányzati kezelésű mellékutak: 10 év.

A tervezhető típus-pályaszerkezetek az Útügyi Műszaki Előírás szerint:

- teljes aszfalt típus pályaszerkezet,
- típus pályaszerkezetek kötőanyag nélküli szemcsés alapréteggel,
- hidraulikus kötőanyagú stabilizációs alapréteggel,
- soványbeton alapréteggel.

4.3.3. Beton burkolatú közúti pályaszerkezetek

Az általánosságban alkalmazott betonburkolatok típusai a következők [9]:

- *hézagolt betonburkolatok:*

a betonburkolatok legrégebben alkalmazott típusánál a burkolatot hézagok kialakításával táblákra osztják, hogy ezzel a betonban kialakuló termikus mozgásokból eredő feszültségeket irányítottan vezessék le. A gátolt mozgásból eredően a burkolatban hőmérséklet emelkedésének hatására nyomófeszültségek, a zsugorodás vagy a hőmérséklet csökkenésének hatására húzófeszültségek lépnek fel. Amennyiben ezek a feszültségek mozgások formájában nem oldódhatnak fel, akkor a betonburkolat szabálytalan repedésekkel olyan táblákra bomlik fel, amelyek mérete a feszültségekből eredő mozgásokat lehetővé teszi. A rövidebb hosszúságú hálóvasalással nem erősített betontáblák előnyösebbek, a nehézforgalmú szakaszoknál a hézagok teherátadó vasalását a kísérleti eredmények és a tapasztalatok egyértelműen szükségesnek ítélték.

- *folytonosan vasalt betonburkolatok:*

a keresztirányú hézagok néhány méteres távolságokban történő kialakítása technológiai kihívást jelentenek, a keresztirányú hézagok rendszeres fenntartást igényelnek. A folytonos vasalású betonburkolatok kivitelezése kereszt hézagok nélkül, a keresztmetszet felezővonalában elhelyezett vasalás beépítésével valósítják meg. A betonburkolaton egyébként 5-6 méter távolságra keletkező, a teljes keresztmetszeten áthatoló, a beton zsugorodásából származó keresztirányú repedéseket a pálya keresztmetszetén át nem hatoló, egymástól 1-3 méterre lévő, tized milliméternyire megnyíló hajszálrepedéssé korlátozza. A vasszerelés hatására a repedések zártak maradnak és így az utazáskényelem

tartósan jó marad. A jó minőségben készített, folytonosan vasalt betonburkolat, különösen nagy forgalmú autópályák burkolataként (hosszú időszak költségeinek elemzése alapján) a leggazdaságosabb és a legkisebb élettartam-költségű pályaszerkezet változat.

– *kompozit burkolatok:*

a kompozit burkolatú pályaszerkezetet E, K és R forgalmi terhelésű utakra javasolnak tervezni. A kompozit burkolatú pályaszerkezet általában 40 mm vastagságú, modifikált bitumen kötőanyagú, fokozott igénybevételi kategóriának megfelelő zúzalékvázás masztixaszfalt kopórétegből és alatta fektetett SAMI rétegből, valamint 23-26 cm CP4/2,7-32 jelű betonnal készített, folytonosan vasalt betonlemezéből, ezalatt 20 cm vastag, hidraulikus kötőanyagú alaprétegből áll. Fontos, hogy az alapréteg ne kössön össze a teherviselő betonlemezzel.

A hézagolt betonburkolatok tervezése során figyelembe kell venni:

- a forgalom nagyságából és minőségéből adódó mértékadó terhelésből, a klimatikus viszonyokból, a hőmérsékleti feszültségekből, valamint a fáradásból következő hatásokat;
- a hézagoknál a teherátadás képességét;
- a forgalombiztonság és a szolgáltatási színvonal – csúszásellenállás, felületi egyenletesség, gördülőzaj-szint – követelményeit;
- a célra rendelkezésre álló anyagokat és technológiákat, figyelemmel a környezeti hatásokra;
- a pályaszerkezet állékonyságának követelményét;
- a tervezési élettartam alatt sem a forgalom, sem a környezeti tényezők hatására káros alakváltozást nem szenvedhet el;
- az alatta lévő földművel együtt nem veszíti el teherbíró képességét;
- anyagaik időállóak.

A beton burkolatú pályaszerkezetek méretezésének kiinduló feltételei a következők [9]:

- a hajlító-húzó szilárdsággal rendelkező anyagoknak legyen meg a terhelés által keltett ismétlődő hajlítási fárasztással szembeni ellenálló képessége, azaz a kellő fáradási húzószilárdsága;
- a húzószilárdsággal nem rendelkező anyagoknak legyen meg az ismétlődő terhelés által keltett nyomással szembeni ellenálló képessége, azaz a kellő fáradási nyomószilárdsága;

- a burkolatba szánt anyagok legyenek képesek a forgalmi terhelésből adódó vízszintes erők felvételére, ne deformálódjanak a járművek fékezési, gyorsító hatására, valamint nyomóerők felvételére, tehát tartós alakváltozást ne szenvedjenek;
- a külső környezeti hatások (hőmérséklet, nedvesség, fagy) a pályaszerkezet rétegeit ne tudják károsítani.

A hézagaiban vasalt betonburkolat méretezése során először a kerékterhelésre történő méretezést végzik el [9]:

- felvesszük a mértékadó kerékterhelést. Közutak esetében 115/2 kN, magánutak, logisztikai központok, konténer terminálok, valamint repülőterek burkolatai esetén a megrendelők által szolgáltatott adatokból a tervező feladata megállapítani;
- számítjuk vagy becsüljük az ágyazási együtthatót (k);
- felvesszük a betonburkolat vastagságát (h);
- számítjuk a betonburkolat hajlítófeszültségét (σ_r);
- számítjuk a vetemedési feszültséget (σ_w);
- a két feszültség összegét (σ_{\max}) megszorozzuk a terhelésmértlődésnek (N) megfelelő fáradási csökkentő tényezővel, az (5/21) összefüggésből a σ_{\max}/f_t hányadossal;
- az így megkapott feszültséget (σ'_{\max}) viszonyítjuk a beton szilárdságához (f_t);
- ha $\sigma'_{\max} / f_t > 1,0$, akkor megnövelt táblavastagsággal újra számolunk.

A betonburkolatban fellépő hajlító és húzófeszültséget Westergaard által a rugalmas ágyazású lemezre kidolgozott, majd többek által továbbfejlesztett képletekkel határozhatjuk meg. A lemez közepét, szélét, sarkát terhelő erő hatására a betonburkolatban keletkező húzófeszültségeket külön-külön képletekkel számíthatjuk [9]:

- lemezközép esetén

$$\sigma_k = \frac{0,275 * F_k}{v^2} (1 + \mu) \left[\lg \left(\frac{E v^3}{C b^4} \right) - 0,436 \right], N/mm^2$$

- lemezszél esetén

$$\sigma_{sz} = \frac{0,529(0,7F_k)}{v^2} (1 + 0,54\mu) \left[\lg \left(\frac{E v^3}{C b^4} \right) + \lg \left(\frac{0,1b}{1 - \mu^2} \right) - 1,08 \right], N/mm^2$$

- lemezsarok esetén

$$\sigma_s = \frac{3(0,7F_k)}{v^2} \left[1 - \left(\frac{12 \times 10^{-4}(1 - \mu^2)C}{E v^3} \right)^{0,3} (0,1a\sqrt{2})^{1,2} \right], N/mm^2$$

ahol F_k a kerékterhelés, 57500 N;

E a beton rugalmassági modulusa, 30000 N/mm²;

- p az abroncsnyomás, $0,7 \text{ N/mm}^2$;
- a a terhelő kör sugara $\left[\frac{F}{\pi p}\right]^{\frac{1}{2}}$, mm;
- v a burkolat vastagsága, mm;
- b a, ha $a > 1,724h$, ha $a < 1,724h$, akkor $b = \sqrt{1,6a^2 + v^2} - 0,675v$;
- C ágyazási együttható, N/mm^3 ;
- μ keresztirányú alakváltozási együttható, 0,15.

A betonburkolat szerkezetét minden esetben táblákra osztják hossz-és keresztirányúak, a betontáblák hosszát a keresztirányúak egymástól való távolsága, a táblák szélességét a hosszirányúak egymástól való távolsága vagy pedig a hosszirányú és a beton széle közötti távolság határozza meg. A betonburkolatok geometriai kialakításának tervezése során a következő általános feltételek kell figyelembe venni:

- az egy ütemben épülő beton pályaburkolat szélességét úgy kell tervezni, hogy az építési sáv szélesség minél kevesebb változtatására legyen szükség. Egyenes vagy annak tekinthető nagysugarú íves szakaszokon a burkolat oldalesése lehetőleg 2,5 %-os legyen;
- a betonburkolatokat lehetőleg teljes szélességben, egy menetben kell beépíteni;
- a betonburkolaton az oldalesés irány vagy arányváltozásának gerincvonala az úttengelyhez képest ferdén nem tervezhető;
- háromnál több forgalmi sáv azonos oldalesése esetén a burkolatra jutó csapadékvizek, hosszirányú összegyűjtését és elvezetését biztosítani kell.

4.3.4. Megállapítások

Régóta napirenden lévő probléma a közlekedési szakértők, azon belül is a közúti pályaszerkezetek szakértőinek köreiben belül, hogy aktuálisak-e még a jelenleg is használt aszfalt útburkolat méretezési eljárások, nevezetesen a „katalógus rendszer”. Előfordul ugyanis, hogy egy forgalmi terhelési osztályon belülre esik két olyan út, ahol a tervezési forgalom értékei között 3-szoros eltérés van, ez az alacsonyabb forgalmú út esetében túlméretezett pályaszerkezetet eredményez, ami pedig a kivitelezés anyagköltségeit, magának az útnak a bekerülési költségeit növeli meg. További probléma még a „Z” szorzó megléte a méretezési eljárásban. A „Z” szorzó az egyes 115 kN, a kettős 180 kN és az útkímélő 190 kN tengelyterhek többlet fárasztó hatását figyelembe vevő szorzó, melynek értéke 1,5. Ez alapján elmondható, hogy minden egyes útszakasz méretezésénél számított tervezési forgalom 50 %-kal van megnövelve, mely indokolatlan esetben (amikor nincs többlet tengelyterhelés, csatornázott

nehéztehergépjármű forgalom) szintén útpályaszerkezet túlméretezéshez, ezáltal többlet költségekhez vezet.

A tervezési forgalom aktualizálása aszfalt pályaszerkezetek méretezése esetén [10]:

- önálló és betonburkolatú szabályozással egységes szerkezet;
- az egyes 115 kN, a kettős 180 kN és az útkímélő 190 kN tengely többlet fárasztó hatását figyelembe vevő szorzó kivezetése a szabályozásból;
- biztonsági tényezők finomítása az útkategóriák függvényében;
- forgalomfejlődési szorzók aktualizálása és évenkénti meghatározása t/2 év helyett;
- jármű átszámítási szorzók pontosítása;
- nemzetközi gyakorlatban használt egyéb paraméterek figyelembevételének megfontolása.

A betonburkolatoknál tapasztalt hibákból kiindulva elmondható, hogy a táblák élei, valamint a hézagok kritikus helyeknek tekinthetők. A repedések legtöbbször a hézagolásokból indulnak el vagy azok mellett, azokkal majdnem párhuzamosan jelennek meg. Több helyen is tapasztalható volt a gumi kamraelemek találkozásánál a betontábla éleinek sérülése, mely jelenség leginkább a nagy és csatornázott keresztirányú forgalommal terhelt csomóponti szakaszokon volt jellemző. Ezekből a tapasztalatokból kiindulva megoldandó a sarkok és élek fokozottabb vizsgálata. A Budapesti Közlekedési Vállalat a 2016 nyarán zajló Bartók Béla úti közúti vasúti pálya rekonstrukció diszpozíciójában kért a szálerősítésű beton alkalmazását, mellyel a tapasztalatok azóta rendkívül pozitívak (ilyen szálerősítéses betonnal készült a Dugonics téri megálló legutolsó kopórétege, mely azóta jelentős és jellemző hibákat nem mutat).

A két sínszál geometriai kötöttségnek tekinthető, mely esetre, amennyiben használandó lenne, a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás nem engedi a katalógus rendszer használatát, hanem egyedi méretezést ír elő a Westergaard-képletek alapján. Egyedi geometriájú felületeknek minősülnek például a repülőterek és ipari területek betonburkolatai. A betonélek védelme érdekében elterjedt technológia manapság azok 45 fokban történő „lecsapása”, mellyel továbbá a kiöntő anyag a nyári hőmérséklet emelkedésben így többlet teret kap az elegendő táguláshoz.

Kitérők és vágánykapcsolások, megállóhelyek és azok elhúzásainak környezetében, ott, ahol a beton burkolat szélessége változó, nem lehet szabályos geometriájú táblaalakokat kialakítani, erre jó példa a Kossuth Lajos sugárút és a Rókusi körút jelzőlámpával irányított körgeometriájú csomópontban található vágánykapcsolatok környezete. Az itt található táblaalakok igen változatosak, a hegyes szögűtől a tompa szögű alakzatokig. Ilyen esetekben kiemelten fontos

és szükséges a hézagok és táblák kiosztásának gondos tervezése, mellyel a termikus mozgásokból eredő burkolati hibák esélye lecsökken, továbbá megoldás lehet az elkeskenyedő burkolati részek rugalmas anyagból történő kialakítása.

A közlekedési felületek átlagosan a városok felületének 10 %-át teszik ki, döntő szerep jut eme felületek világossági tulajdonságainak is, továbbá eddig kevésszer foglalkoztak a városi „hőszigetek” megjelenésével. A közlekedési felületek céljára a jövőben alkalmazott burkolatoknak további követelményeket is teljesíteni is kell, így például a kisléptékű és helyi klímahatások, mivel a beépített területek (közlekedési felületek is) hőtárolóként befolyásolják a városi klímát. A világos útfelületek, különösen a kivilágítatlan, vagy rosszul kivilágított helyeken javítják a szubjektív biztonságérzetet és csökkentik a baleseti kockázatot. A meglévő közlekedési felületek pályaszerkezeteinek e célokból történő cseréje nem célszerű, többnyire gazdasági okokból, ezért javasolható megoldás a fehér szőnyegezési eljárás. Amerikai kutatók különböző rétegfelépítésű és eltérő teljes szerkezeti felépítésű pályaszerkezetek építettek, amelyeken a felületi kiképzés megfelelt a belvárosi környezetekben egyébként is használatos megoldásoknak, így megjelent többek között a fehér és világos betonszőnyegezés, a betonlemez, az aszfaltburkolat és az öntött aszfalt burkolat. A világos közlekedési felületek a városbelső térségében a felületek hőmérsékletét és az általános hőmérsékleti szintet csökkentik, másrészt a közlekedésben résztvevőknek a láthatósága lényegesen javul.

A közúti vasúti pályaszerkezetek méretezéséhez javasolható a következő mérés végrehajtása: komoly probléma, hogy a közúti terhek esetében nem lehet megállapítani egy precíz teherátadási pontot az abroncsok és a burkolat, a vasúti felépítmény között (nem kötött pálya). Egy adott időszakban, nyomás érzékelővel ellátott szenzorokkal mérni lehetne, hogy az autóbuszok, közúti járművek a közúti vasúti burkolat egy adott keresztmetszetén hol haladnak át, ennek megfelelően az adott időszakra egy átlagot lehetne képezni, ahol jellemzően a két kerék terheli a burkolatot. A megfeleléségi vizsgálatokban ezekre a pontokra vizsgálni kell a burkolatok megfeleléségét, végeselemes modellekben, továbbá javasolható, hogy a sínleerősítési rendszerek interakcióját is vizsgálják a burkolatokkal a jövőben.

5. Költségek

Ebben a fejezetben azokat a költségeket mutatom be, melyek a szegedi nagyprojekt kapcsán az építések során, illetve a garanciális munkákkal kapcsolatban kerülhettek szóba. Bemutatom röviden az egyes felépítmény típusok építési költségeit, továbbá a garanciális munkákhoz tartozó, vágánykizárás miatt biztosítandó autóbuzos pótlások költségeit és az ott alkalmazott ideiglenes forgalomtechnika kialakításának többletköltségeit. Fontos megjegyezni, hogy manapság az egyre nagyobb piaci verseny miatt nagyon nehéz pontos árakat adatigénylésenként beszerezni, így a szegedi nagyprojekttel kapcsolatban közelített, becsült árakat fogok bemutatni, mind a felépítmények, mind a garanciális munkák tekintetében, azonban a nagyságrendek megfigyelése fontos információkat hordozhat.

5.1. Egyes pályaszerkezet típusok építési költségei

Jelen dolgozat leginkább a közúti vasúti felépítményi rendszerekben alkalmazott burkolatokat vizsgálja, így külön vizsgáltam meg a felépítmények és a burkolatok építési költségeit. A szegedi 3. számú közúti vasúti viszonylat Tisza Lajos körúti szakaszán alkalmazott átlagárakat a 9. táblázat tartalmazza.

<i>Pályaszerkezeti elem</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>Egységár (Ft) [2010-es adatok]</i>
Földmunkatükör készítés, tömörítés	m ²	287,60
Geotextília terítése	m ²	377,20
Talajjavító réteg készítése homokos kavicsból	m ³	6433,20
Talajcsere Ctt-2 réteg beépítésével	m ³	11117,40
Alapréteg készítése (CKt) 25 cm	m ³	14858,60
Vasbeton pályalemez építése 18 cm	m ³	47624,33
Beton alapréteg készítése 14 cm	m ³	24119,33
Ri59/13 vályússínes RAFS vágány építése	vm	118878,00
AC 16 kötőréteg 4,5 cm vtg.	m ³	54139,67
AC 11 kopóréteg 3,5 cm vtg.	m ³	55565,17

9. táblázat: a Tisza Lajos körúti RAFS vágány építésének átlagköltségei [3]

A felépítményi rendszerek műszaki adatai mellett nagyon fontos szempont egy-egy beruházás előtti tervezési időszak során, hogy az adott típus milyen egységárral jellemezhető, hosszú távon melyik térülhet meg életciklusán belül. A 10. táblázatban jól látható, hogy rugalmas és folytonos ágyazású vágányok vágány folyóméter árai 90.000 és 120.000 Ft között mozoghatnak, a javasolt, Németországban jó tapasztalatokkal alkalmazott Datwyler RCS Phoenix rendszer (freiburgi) ára körülbelül ezen pályaszerkezetek 50-60 %-a. A körülöntéses technológiák manapság is 1-2 nagyságrenddel drágább, azonban megfelelő technológiával épített (szálerősített, 23 cm vastagságú, monolit egyben épített betonburkolat), csatornában körülöntött vágány minőségét már bizonyította. Referencia értéként a táblázatban feltüntettem a zúzottköves közúti vasúti vágányoknál alkalmazott S49 sínes rendszert, mely minden tekintetben a legolcsóbb pályaszerkezet típusnak tekinthető.

<i>Felépítmény típus megnevezése</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>Egységár (Ft) [2010-es adat]</i>
Ri59/13 vályús sínes gumiköpenyes vágány	vm	94411,20
Ri59/13 RAFS vágány gumiprofilokkal, nyomtávtartó rudakkal	vm	118878,00
Ri59/13 vályús sínes freiburgi vágány (RCS)	vm	50629,50
Ri59/13 vályús sínes körülöntéses vágány (vasalás: 60 kg/vm)	vm	320673,20
Ri59/13 vályús sínes, tőcsavaros, vasbeton lemezes vágány	vm	95182,00
S49 sínes zúzottköves vágány, vasbeton aljakkal	vm	43004,00

10. táblázat: felépítményi szerkezet típusok egységárai vágányméterre vetítve [3]

5.2. Garanciális munkák felmerülő költségei

A garanciális munkák négy komolyabb költségvetési tételcsoportot tartalmaznak:

- bontási költségek,
- helyreállítási (építési) költségek,
- ideiglenes forgalomkorlátozás költségei,
- pótlási, vágányzári költségek.

Az gumiprofil ágyazású, nyomtávtartó rudas pályaszerkezetek esetében a bontások során eltávolítják a hézagkiöntő modifikált bitument, megbontják az aszfalt kopó-és kötőrétegeket. A gumiköpenyes pályaszerkezetek esetében a bazaltbetont feltörik, amennyiben korábban nem volt vasalva, lehorgonyzó vasakat helyeznek el az alatta lévő betonlemezbe, majd elkészíti a kitöltő bazaltbeton burkolatot, vagy szálerősített betonnal építik ki a burkolatot. A Budapesten alkalmazott szálerősítésű betonrétegek költségéhez még hozzáadódik a szálak költsége, ez köbméterenként 2500-5000 Ft típustól függően.

<i>Burkolati munka megnevezése</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>Egységár (Ft) [2010-es adatok]</i>
Hézagkiöntés bontása	vm	812,00
Burkolópanel bontása vályússínes vágánynál	vm	5517,50
Aszfalt vágányburkolat bontása	vm	8511,67
Öntött aszfalt vágányburkolat bontása	vm	4518,00
Bazaltbeton burkolat bontása	m ²	16716,00
Alaplemez betonfelület levésése, tisztítása	m ²	10409,00

11. táblázat: vágányburkolat bontással kapcsolatos egységárak [3]

A bazaltbeton burkolat bontásának költsége kétszerese az aszfaltburkolatok bontásának, továbbá különös tekintettel kell lenni arra, hogy a beton rendkívül hosszú kötési vagy

szilárdulási idővel rendelkezik, mely a forgalom számára való visszaadást nagyban megnehezíti, illetve bizonytalanná teszi. A bontás során a maradó fogadó felületet minden alkalommal gondosan elő kell készíteni, hogy a későbbiekben ne kelljen újra megbontani.

<i>Burkolat vagy munka megnevezése</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>Egységár (Ft) [2010-es adatok]</i>
Kitöltő beton készítése (C12-32/FN)	m ³	20039,67
AC 16 aszfalt kötőréteg 4,5 cm vtg.	m ³	54139,67
AC 11 aszfalt kopóréteg 3,5 cm vtg.	m ³	55565,17
Bitumen emulzió 0,7 kg/m ²	m ²	346,33
Modifikált bitumen kiöntés	m ³	388520,00
Bazaltbeton burkolat (CP 4/3)	m ³	36322,60
SMA 8 kopó (F) aszfaltréteg	m ³	57147,67
AC 8 kopó aszfaltréteg	m ³	50069,00
AC 11 kötő aszfaltréteg	m ³	45859,40
SMA 11 (F) kopó aszfaltréteg	m ³	58172,00
AC 22 (F) kötő aszfaltréteg	m ³	47122,25
MA 2*4 cm öntött aszfalt	m ³	118760,50

12. táblázat: garanciális munkák során alkalmazott anyagok átlagos egységárai [3]

A burkolati problémák javításakor Szegeden a legtöbb alkalommal teljes vágányzár volt adott szakaszon, de előfordult, hogy a villamosok közlekedhettek, viszont az autóbuszokat és trolibuszokat terelni kellett. Szegeden a közösségi közlekedési szolgáltatást a Szegedi Közlekedési Kft. és a Dél-alföldi Közlekedési Központ Zrt. bonyolítja le, e két cég nagyjából hasonló módon számítja az építési munkákból fakadó többletköltségeket. A szolgáltatóknak a munkavégzés ellenére fenn kell tartani az önkormányzat által a közszolgáltatási szerződésben meghatározott kapacitásokat adott viszonylatokon, adott napszakon belül.

Általánosan a következő tételekből áll össze egy pótlási időszak:

- *ideiglenes forgalomterelések és forgalomkorlátozások költségei:*

Ez a tétel magában foglalja a vállalkozó által ütemezett építési sorrendnek megfelelő lokáli forgalomterelési tervek készítését, jóváhagyási eljárását (engedélyeztetését), valamint a forgalomterelés és forgalomkorlátozás életbe léptetéséhez szükséges valamennyi munka elvégzését és az ideiglenes forgalomtechnika fenntartását. Magában foglalja a munkák befejezését követően az eredeti forgalmi rend helyreállítását, figyelembe véve a végleges forgalmi rend kiépítését.

- *szolgáltató állandó többletköltsége egy évre vetítve:*

Villamos vagy autóbusz pótlás költségei a vágányzár alatt, a vállalkozónak a szolgáltatóval egyeztetett módon, a kiviteli organizációs elképzelésének megfelelően kell meghatározni az egyes szakaszok lezárásának idejét napokban. A tétel beárazását a vállalkozó által meghatározott napok és a szolgáltatóval egyeztetett napi vágányzári költség (fix egységár) figyelembevételével kell elvégezni. Ide tartozik az ideiglenes peronok kialakítása, megállóhelyi tartózkodók építése, információs anyagok és hirdetések terjesztése.

- *villamosok autóbuszos pótlásának és autóbuszok útvonal módosításához tartozó napi járulékos költségek:*

Ide tartoznak a buszok kerülő vagy terelt útvonalon közlekedésének többletköltségei, melyek a futásteljesítmény többletből erednek. Egy autóbusz kapacitása villamos mérettől és típustól függően 50-75 %-a annak, tehát a kapacitás fenntartás miatt kb. kétszer annyi autóbusszal lehet biztosítani az előírt kapacitást. A járművezetői díj nem kerül módosításra, hiszen a villamos vezető helyett a szolgáltatónak autóbuszvezetőt kell biztosítani.

Az éves és napi járulékos költségek erősen függenek attól, hogy iskolai vagy nyári időszakra van időzítve a munkavégzés, illetve hol és melyik viszonylatok fognak akadályoztatást szenvedni az elvégzendő munka által, ezek jelentősen meghatározzák a szolgáltatók többletköltségeit. Fontos megemlíteni továbbá, hogy a pótlóbuszos járatbiztosítás esetében, az építési munkák miatt nem használhatók a villamos vágányok, így az autóbuszok a közúti forgalmi sávokban közlekednek, általában hosszabb útvonalon, így felhasználó oldalon is keletkeznek többlet költségek az utazási idő esetleges megnövekedése miatt, melyek a megállóhelyek áthelyezésével, a rágyaloglási távolság növekedésével is fokozódhatnak.

<i>Pótlási tétel megnevezése</i>	<i>Egységár (Ft) [2010-es adatok]</i>
Ideiglenes forgalomterelés, forgalomkorlátozás	32 456 523,00*
Szolgáltatók állandó többletköltsége	8 552 000,00*
Szolgáltatók napi többletköltsége	291 418,00**

13. táblázat: garanciális munkák ideiglenes forgalomtechnika és szolgáltatás pótlási költségei [3]

[*: a szegedi 1. számú közúti vasúti vonal hosszára vetítve (4,4 km)]

[**: értendő a megrendelt viszonylatonként]

6. Összefoglalás

A Szegeden és Budapesten vizsgálat szakaszokon alkalmazott burkolatok közül sem a hengerelt (AC), sem az öntött aszfalt (MA), sem a vasalás vagy szálerősítés nélküli bazaltbeton nem alkalmas nagy közúti terhelésre hosszú távon. Az aszfalt burkolatok esetében kátyúsodás és nyomvályúsodás jelentkezett rövid időn belül, a bazaltbeton kopórétegek pedig folyamatosan repedeztek a használatba vétel után. Aszfalt esetében valamilyen modifikálás alkalmazása, bazaltbeton esetében vasalás, de inkább szálerősítés hatékony megoldás lehet a jövőben. Különösen nagy problémát jelent a különböző felépítményi szerkezetek burkolatainak átmenete, hiszen az eltérő szerkezetek eltérő mozgásokat végeznek a hőmérséklet hatására. A burkolatok esetében a jövőben meg kell vizsgálni annak lehetőségét, hogy milyen módszerekkel, hogyan lehet ilyen különleges geometriai és terhelési viszonyok között méretezést elvégezni, továbbá figyelembe venni a közúti járműterhek statikus és dinamikus hatásait is. Alkalmazni kell olyan technológiákat, melyeket a szakma már sikerrel épített be nagy terhelésű közúti pályaszakaszokon. Vizsgálni kell a burkolatok és a sín kapcsolatát, ennek vizsgálatát be kell építeni a hazai megfelelőség vizsgálatokba. Kitérők környezetében gyakran találkozunk szabálytalan geometriai alakzatokkal a burkolatban, itt különös tekintettel kell lenni a minél nagyobb felületek készítésére és a hézagolás precíz kialakítására.

Szabályozás tekintetében rengeteg a hiányosság a közösségi közlekedési sávokkal kapcsolatban: a Sárga könyv nem egységes magyar közúti vasúti előírás, így az utóbbi évek fejlesztései során gyakran eltérő műszaki megoldások születtek a magyar közúti vasúttal rendelkező városokban, továbbá az Útügyi Műszaki Előírások sem adnak tájékoztatást az ehhez hasonló közlekedés üzemi rendszerekről. Így a továbbiakban szükségessé válik, hogy valamilyen dokumentumban konkrét szabályozás születhessen, melyben a pályaszerkezeti megoldásokra is ajánlások, esetlegesen a méretezési kérdésekre is válaszok találhatóak.

A közúti vasúti pályaépítések során, különös tekintettel a közösségi közlekedési sávokra, fokozottan oda kell figyelni a minőségi anyagválasztásra, valamint munkára, hiszen a jól alkalmazott megoldások hosszú távon üzembiztos közlekedési felületeket adhatnak. A beton-aszfalt kompozit burkolatok alkalmazása hosszú távon is reális lehet, csak akkor, ha ennek feltételei adottak lesznek.

A dolgozat folytatásaként elképzelhetőnek tartok egy olyan dokumentum elkészítését, melyben részletesebben lehet foglalkozni a méretezési kérdésekkel, esetleg mérési eredményekkel lehet igazolni azok helyességét vagy megfelelőségét.

Hivatkozásjegyzék

- [1] Dr. Tóth Csaba – Soós Zoltán: Közlekedési létesítmények pályaszerkezetei – 9. előadás: Pályaszerkezet diagnosztika, a rongálódás folyamata. Hibák és hiba okok.
- [2] Dávid Milán: Rugalmas sínágyazású közúti vasúti kitérő-pályaszerkezet tervezése és kivitelezési technológiájának elkészítése (BSc-E-049-14/15/2, Budapest, 2015)
- [3] Szegedi Közlekedési Kft. fotóanyagai és információi, rendelkezésemre bocsátotta: Dr. Németh Zoltán Ádám ügyvezetői megbízott
- [4] BKV Sárga Könyv (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék; Budapesti Közlekedési Vállalat, 2000, Budapest)
- [5] Gyerkó József (infrastruktúra főmérnök) és Tóth József (infrastruktúra szakszolgálat), a BKV Zrt. munkatársai által rendelkezésemre bocsátott anyagok
- [6] Fűr-Kovács Adrienn ügyvezető és az Avers Fiber Technology Kft. által rendelkezésemre bocsátott anyagok
- [7] Elastische Schienenlagerung und Streustromisolierung bei der Freiburger Verkehrs AG ab 1999; Pályaépítési tapasztalatok (Hans Bogel, 2007); Rail Comfort System (RCS) műszaki ismertető anyagai
- [8] Dr. Kazinczy László: Betonlemezes vasúti vágányok szerkezeti kialakítása és igénybevételeinek számítása (Budapest, 2010)
- [9] Dr. Keleti Imre: Betonburkolatok (Magyar Betonburkolat Egyesület, Budapest 2010)
- [10] Dr. Tóth Csaba: Az analitikus német útpályaszerkezet méretezési eljárás ismertetése (Útügyi Lapok, Szeged, 2016)
- [11] 266/2013. (VII. 11.) Kormány rendelet az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről
- [12] Bernd Abele (Joseph Rettenmeier und Söhne GmbH.) által rendelkezésemre adott anyagok
- [13] Dr. Tóth Csaba, Soós Zoltán: The effect of VIATOP plus FEP on the stiffness and low temperature behaviour of hot mix asphalts
- [14] Dr. Geiger András: MOL gumibitumen fejlesztése, hazai és nemzetközi tapasztalatok

Irodalomjegyzék

- Belgrádi menetrendi információk: www.eway.rs
- Graz menetrendi információk: www.holding-graz.at

-
- Szeged Megyei Jogú Város helyi közösségi közlekedés menetrendje (Érvényes 2017.01.01-től; DAKK Zrt., Szegedi Közlekedési Kft.)
 - Budapesti menetrendek (BKK Zrt.) (<http://bkk.hu/menetrendek/>)
 - Részletes Technológiai Utasítás a vályús sínes, bebetonozott talpfás, geós- sínleerősítésű vágányrendszer építéséhez
 - Részletes Technológiai Utasítás a nagypanelés, tömsínes, szorítógumis sínleerősítésű vágányrendszer tervezésére, építésére és fenntartására
 - Péntes Márk Bendegúz: Régi-új felépítményünk – Nagypanelés tömsínes rendszer a Vasútépítő Zrt. kivitelezésében (Innotéka – Mélyépítés 2017. szeptember 4., http://innotekamelyepites.hu/cikk/regi_uj_felepitmenyunk.46.html)
 - Részletes Technológiai Utasítás a vályússínes, rugalmasan alátámasztott, folyamatos sínágyazású (RAFS) töcsavaros leerősítésű vágányrendszer építésére és fenntartására
 - A CDM-QTrack ágyazási rendszer tapasztalati természetes és füves vágányokban (VI. Városi Villamos Vasúti Pálya Nap, 2013.04.10., Szeged)
 - Wojciech Nawrat: Pályaépítés felülről lefelé – cikk – Innorail magazin 2014/1
link: <http://innorail.hu/palyaepites-felulrol-lefele/?archid=5&pagerid=2014>
 - A CDM-QTrack felépítményi rendszer alkalmazása a Szeged 3-as villamos átépítési munkáiban (IV. Városi Villamos Vasúti Pálya Nap; 2011.04.20., Miskolc)
 - PHOENIX Dichtungstechnik GmbH – RCS Rail Comfort System (<https://www.yumpu.com/en/document/view/5144636/rcs-rail-comfort-system-pdf-en-18-mb-pdt-profiles>); (<http://www.vitrea.se/sparsystem/rcs-rail-comfort-system/>)
 - Útügyi Műszaki Előírás e-UT 06.03.13: Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek méretezése és megerősítése (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék)
 - Útügyi Műszaki Előírás e-UT 06.03.14: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének segédlete (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék)
 - Útügyi Műszaki Előírás e-UT 06.03.15: Betonburkolatú és kompozitburkolatú útpályaszerkezetek méretezése (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék)
 - Útügyi Műszaki Előírás e-UT 06.03.21: Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék)
 - Útügyi Műszaki Előírás e-ÚT 06.03.31: Beton pályaburkolatok építése (BME Út és Vasútépítési Tanszék)
 - Magyar Szabvány MSZ EN 1992-1-1 (Eurocode 2): Betonszerkezetek tervezése (hozzáférés: BME Út és Vasútépítési Tanszék)
-