



Szintetikus vasúti keresztaljak jellemzői és a velük épített zúzottkő ágyazatos hézag nélküli vágány kivetődésbiztonsága

Dr. Horvát Ferenc

ny. főiskolai tanár

✉ horvat.sze@gmail.com

☎ (30) 351-1633

A cikk két témával foglalkozik. Először áttekintést ad a hazánkban már beépített szintetikus aljfajták méret- és tömegadatairól, fizikai jellemzőiről. A második részben számításokkal állapítja meg azokat a peremfeltételeket, amelyek teljesülésével ezek az aljak biztonsággal alkalmazhatók zúzottkő ágyazatos hézag nélküli vágányban.

Bevezetés

Az elmúlt években számos alkalommal került sor szintetikus keresztaljak beépítésére nagyvasúti, közúti vasúti vágányba és fogaskerekű vasúti alkalmazásra is van példa. Ezek az aljak különböző gyártóktól származnak és egyes jellemzőikben igen eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezért indokolt az alkalmazott fajtákról olyan rövid áttekintést adni, amely összefoglalja legfontosabb műszaki tulajdonságaikat.

A MÁV Zrt. D.12/H. utasítás [1] 4.1.2.1. fejezetében leírtak szerint vasbeton keresztaljakkal $R = 3000$ m ívsugarig ugyanazon feltételek mellett lehet hézag nélküli vágányt létesíteni, mint egyenes pályarészen. Kisebb ívsugaraknál, azok nagysága függvényében, a külső és a belső oldali ágyazatváltat kell szélesíteni az előírt mértékben. Az utasítás [1] ugyanott előírja, hogy: „Meglévő talpfás hézag nélküli

vágányok létesítése kis sugarú ívben csak a központi pályalétesítményi irányító szervezet által jóváhagyott méretezett megoldással engedélyezett.” Az utasítás szintetikus keresztaljak beépíthetőségéről nem rendelkezik.

A vágányok kivetődéssel szembeni állékonyságának egyik meghatározó tényezője azok tömege. Egy 2,5 m hosszú, $0,30/0,15 \times 0,214$ m keresztmetszetű, LW típusú vasbeton alj tömege 296 kg, míg egy $0,26/0,16 \times 0,16$ m keresztmetszetű, 2,60 m hosszú faaljé mindössze 104 kg. A cikk első részében közölt táblázatokból kiderül, hogy a faaljakhoz hasonlóan könnyűek a szintetikus folyópályaaljak is, típusuktól függően 70-130 kg súlyúak. Ezért beépítésükhöz szükséges a különféle változatokat figyelembe vevő alkalmazhatósági paraméterek értékeinek számításokkal történő meghatározása. A számítások terheletlen zúzottkő ágyazatos hézag nélküli vágányra vonatkoznak.

Egyes szintetikus aljfajták műszaki tulajdonságai

A cikk négyféle szintetikus alj méretadatait és legfontosabb fizikai tulajdonságait foglalja össze az elérhető termékleírások alapján. A típusok:

- FFU (Fiber reinforced Foam Urethane), SEKISUI Chemical Group (japán),
- STRAILway, KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG (német),
- Pioonier, Pioonier GmbH (német),
- Sicut, Sicut Enterprise Ltd. (brit).

A szintetikus keresztaljak anyaga és gyártási technológiája

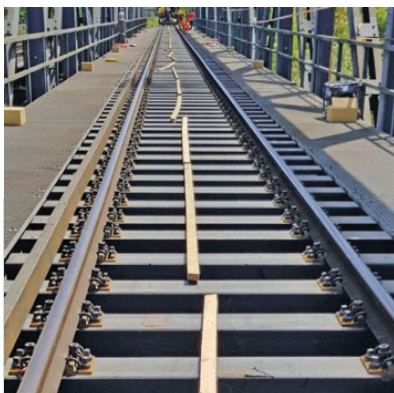
Az FFU- aljak (1. ábra) gyártása pultrúziós eljárással történik. Az 50% térfogatot kitevő üvegszálkötegeket ellenőrzött sebességgel behúzzák a fűtött szerszámba, majd speciális összetételű poliuretán gyanat fecskendeznek rájuk, amely teljesen átítatja azokat anélkül, hogy pórusokat hagyna. Ezután állandó hosszirányú feszítés mellett és a hő szabályozva megy végbe a mátrixgyanta térhálósodása. A szerszám másik végén a kész FFU-profil folyamatosan húzzák ki és szabályozott hűtésnek vetik alá. Végül az aljakat a kívánt hosszúságúra vágják, majd ellenőrzik a végső minőséget.

A STRAILway aljak (2. ábra) anyaga műszál erősítésű poliolefin. Gyártásuk technológiája az extrudálás, amelynek során a képlékeny, felmelegített anyagot profilnyíláson sajtolják át, majd a „végtelelített” hosszú terméket méretre vágják.

A Pioonier aljak (3. ábra) 100%-ban újrahasznosított, hőre lágyuló műanyagból (polietilén, polipropilén, poliszitirén, polikarbonát, polivinilklorid) készülnek, szálalósítással és ásványi anyagok, kémiai adalékok hozzákeverésével. A keverék eredeti lineáris, hosszú láncú molekulaszerkezetének lebontása és a keverékből módosított molekulaláncok kialakítása jelenti a kémiai beavatkozást. Folyamatos



1. ábra.
Kitérő építése
FFU-aljakkal



2. ábra. Vágány STRAILway aljakkal hídon

mechanikai művelettel (törés, keverés) és egyidejű hűtéssel akadályozzák meg a túlmelegedést. A meleg anyagot tárolókamrából a szükséges formát, méreteket adó sablonba fecskendezik nyomás alatt, s végül a sablont lehűtik, az alj elkészül.

A Sicut aljak (4. ábra) alapanyaga 99%-ban újrahasznosított poliolefin (lakossági és ipari forrásokból), amelyet üvegszállal erősítenek és 1% színezékkel, UV-stabilizátorral, feldolgozási adalékanyagokkal kevernek. A gyártás extrudálással történik.

A keresztaljak felhasználási területe, mérete és tömege

Az 1–4. táblázatok részletes képet adnak az adatokról, segítve a méretkövetelményeknek megfelelő fajta kiválasztását.

A szintetikus keresztaljak anyagának fizikai jellemzői

Az 5–8. táblázatok tartalmazzák mindazokat az adatokat, amelyek a szóban forgó szintetikus aljak adott feladatra (például teherbírás, kivetődéssel szembeni állékonyság, nyomtávolság-változás hőmérséklet hatására) megfelelőségének számíttással történő ellenőrzéséhez szükségesek.

A szintetikus aljak alkalmazási paraméterei

A szintetikus aljak típusuktól, teherbírást befolyásoló fizikai tulajdonságaiktól, keresztmetszeti méreteiktől függően eltérő tengelyterhelés-sebesség értékpárookra felelnek meg. A következőkben közölt adatok nem magyarországi engedélyezési értékek, hanem a gyártók adatközléseiben szereplő értékek. Az FFU-aljak részletes adatait a 9. táblázat mutatja.



3. ábra. Kitérő Pioonier aljakkal



4. ábra. Vágány Sicut aljakkal

1. táblázat. Az FFU-aljak méret- és tömegadatai

Felhasználási terület	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]	Tömeg [kg/alj]
Folyópályaaljak	100	260	2 400	46
			2 600	50
	120		2 400	55
			2 600	60
	140		2 400	65
			2 600	70
	160		2 400	74
			2 600	80
Kitérőaljak	160	260	>2 200	>68
Hídgerendák	120	240	2 500	53
	140			62
	160			71

2. táblázat. A STRAILway aljak méret- és tömegadatai

Felhasználási terület	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]	Tömeg [kg/alj]
Folyópályaaljak	160	260	2.600	130
Kitérőaljak	160	260	változó	változó
Hídgerenda 1	260	240	2 600	195
Hídgerenda 2	220	240	2 600	165

A STRAILway, Pioonier és Sicut aljakra vonatkozó általános adatok: $V \leq 160$ km/h, $Q \leq 225$ kN.

Egyéb általános alkalmazási jellemzők

A szintetikus aljakon – a honos sínrendszereket tekintve – nincsen megkötés, al-

kalmazhatók 48, 49, 54 és 60 rendszerű sínek. A sínleerősítéseket folyópályában ékes bordás alátétlemezen négy síncsavarral, alárendelt helyen átlósan elhelyezett két síncsavarral, kitérőben négy síncsavarral kell megoldani. A síndőlés lehet 1:20, 1:40, 1:∞. Síntalpleszorító elemként beépíthető: Geo, Skl 12, Skl 14, e-clip Pand-

rol K-konverzió. A sínrendszer, a síndőlés, az alátétlemez, a leszorító elem és a síncsavar megválasztása összehangolást igényel.

Szintetikus aljakkal épített hézagnélküli nagyvasúti vágány kivetődésbiztonsága

A vasúti vágány a sínszalokban bekövetkező, jelentős hőmérséklet-emelkedés miatt keletkező nagy nyomóerő hatására geometriailag mind a vízszintes, mind a függőleges síkban deformálódhat, és a forgalom biztonságára veszélyes nagyságú alakváltozások léphetnek fel, szélső esetben kivetődés következhet be. A jelenséggel szembeni biztonság függ a pálya vonalvezetésétől, a felépítmény szerkezeti kialakításától és a karbantartási munkák befolyásolta állapottól.

A kivetődéssel szembeni biztonság szempontjából a vágány tömege fontos tényező, ezért a vasbeton aljakénál kisebb tömegű szintetikus aljakkal kialakított hézagnélküli vágány esetében joggal merül fel a kérdés, milyen feltételek meglete esetén biztonságos beépítésük.

A kivetődéssel szembeni biztonságot vízszintes és függőleges síkban is meg kell vizsgálni. A *Sínek Világa* 2024. évi 2. számában a vízszintes síkú kivetődéssel szembeni állékonyság Nemesdy-féle számítási módszeréről részletes cikk [2] jelent meg. Ott a számításhoz szükséges kifejezések háttérismertetei részletesen le vannak írva, így jelen írásban ezért magyarázat nélkül szerepelnek és a [3] szakirodalomból vannak átvéve.

A számítások kiinduló adatai

A számításokban több paramétert kell figyelembe venni és azok értéke változó a pályageometriai és a felépítményszerkezeti kialakítástól, valamint az állapottól függően. A következőkben a számítási paraméterek felvett értékeit soroljuk fel, esetenként magyarázattal.

Geometriai adatok:

- pályageometria: egyenes, illetve $R = 400 \dots 2000$ m ívsugár;
- aljtávolság: $k = 0,6$ m;
- vágány fekvésgeometriai minősége a kezdeti fekvéshiba-amplitúdóval jellemezve: $f = 5 \dots 30$ mm.

Szerkezeti adatok:

- sínrendszer: MÁV48, 54 E1 és 60E1; a sínadatok a 10. táblázatban találhatók.

A sínleerősítés r elforgás-ellenállási ál-

3. táblázat. A Pionier aljak méret- és tömegadatai

Felhasználási terület	Típus	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]	Tömeg [kg/alj]
Folyópályaalj	P90	180	230	2 600	101
				2 740	107
				2 600	104
	P60	160	260	2 740	110
				2 600	102
				2 600	105
Kitérőalj	P90	160	260	2 200... 5 300	86...207
	P60				89...214
	P30				98...236
Hídgerendák	P60	180	240	2 600	109
		200			121
		220			133
		240			145
		260			157
		280			176
		300			182

4. táblázat. A Sicut aljak méret- és tömegadatai

Felhasználási terület	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]	Tömeg [kg/alj]
Folyópályaalj	132	254	max. 2 750	max. 83
	152	254		max. 96
Kitérőalj	304	254	>2 750 mm	>191

5. táblázat. Az FFU-aljak fizikai jellemzői

Tulajdonság	Mértékegység	Érték, ha az alj kora			
		új	10 éves	15 éves	30 éves
Anyagsűrűség	kg/m ³	740			
Nyomószilárdság	MPa	58	66	63	60
Hajlítószilárdság	MPa	142	125	131	117
Rugalmassági modulus (E)	MPa	8 100	8 000	8 160	8 160
Nyírószilárdság	MPa	10	9,5	9,6	9,3
Villamos ellenállás	Ω	1,6×10 ¹³	2,1×10 ¹²	3,6×10 ¹²	8,2×10 ¹¹
Szárazon Nedvesen		1,4×10 ¹³	5,9×10 ¹⁰	1,9×10 ⁹	–
Lineáris hőtágulási együttható	1/°C	„very low”	–	–	–
Csavarkihúzó erő	kN	65	–	–	–

6. táblázat. A STRAILway aljak fizikai jellemzői

Tulajdonság	Mértékegység	Érték
Anyagsűrűség	kg/m ³	1 200–1 300
Nyomószilárdság	MPa	50
Hajlítószilárdság	MPa	60
Rugalmassági modulus (E) Folyópálya-alj Hídgerenda	MPa	5 000
Húzószilárdság	MPa	45
Villamos ellenállás	Ω	>100 000
Lineáris hőtágulási együttható Folyópálya-alj Hídgerenda	1/°C	3,7×10 ⁻⁵ 4,5×10 ⁻⁵
Csavarkihúzó erő	kN	> 60

landójára a [2] irodalom számos példát közöl azok kialakításának és állapotának függvényében. A számításokhoz választott sínleerősítés Skl-3 típusú, az elforgás-ellenállás értéke – a fenntartási állapotnak megfelelően – 30 kNm/rad (laza), 40 kNm/rad (közepes) és 50 kNm/rad (jó).

A q oldalirányú ágyazati ellenállás nagysága vasbeton aljas, alávert és irányszabályozott vágányban 8-10 kN/m, konszolidálódott ágyazatban 15-18 kN/m [1]. Faaljas vágányban a kisebb tömeg, valamint az aljak és a zúzott kő közötti súrlódás kisebb volta miatt ez az érték 6-8 kN/m-re vehető fel [1]. Szintetikus aljakkal kialakított vágány esetében kevés a rendelkezésre álló ismeret. FFU típusú folyópályaaljakkal a Köln–Aachen-vasútvonalon konszolidálatlan ágyazatban 5,9 kN/m-t, konszolidált ágyazatban 14,9 kN/m-t határoztak meg. A TU München laboratóriumi vizsgálatai szerint STRAILway folyópályaaljak és konszolidálódott ágyazat esetén az értékek 4,9...5,7 kN/m nagyságúak, a keresztaljak sima, érdesített vagy bordázott felületű kivitele függvényében [4]. Az ebben a cikkben a számításokhoz felvett értékek a gyenge, a megfelelő és a jó állapotnak megfelelően: 3–4–5 kN/m.

A vágányban keletkező maximális nyomóerő hőmérséklet-változásból

A záróhegesztés elkészítésekor érvényes sínhőmérséklet emelkedésével kialakuló nyomóerő számítási kifejezése:

$$F_{h\theta} = \alpha \cdot E \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

$F_{h\theta}$ = a sínszálban keletkező hőmérsékleti nyomóerő [kN],

α = a sínacél lineáris hőtágulási tényezője [1/°C],

E = a sínacél rugalmassági modulusa [kN/m²],

A = a sínszál keresztmetszeti területe [m²],

ΔT = a sín hőmérsékletének változása [°C].

Legyen a záróhegesztési hőmérséklet +15 °C (semleges hőmérsékleti tartomány alsó határa). A választott maximális sínhőmérséklet +65 °C, így a kritikus hőmérséklet-emelkedés értéke 50 °C. A számított maximális nyomóerők a 11. táblázatban szerepelnek

A 11. táblázati értékeket 10%-kal a biztonság javára növelve és 100 kN-ra felfelé kerekítve megállapíthatjuk a sín hőmérsékletének emelkedéséből száma-

7. táblázat. A Pioonier aljak fizikai jellemzői

Jellemző	Mértékegység	Keresztalj típusa		
		Pioonier P30	Pioonier P60	Pioonier P90
Anyagsűrűség	kg/m ³	1 070	970	940
Nyomószilárdság	MPa	n. a.	n. a.	30
Rugalmassági modulus (E)	MPa	3 800	2 600	1 300
Hajlítószilárdság	MPa	30,5	20,5	17,3
Nyírószilárdság	MPa	17,6	11,8	10,7
Villamos ellenállás	Ω	20 000	20 000	20 000
Lineáris hőtágulási együttható	1/°C	3×10 ⁻⁵	6×10 ⁻⁵	9,5×10 ⁻⁵
Csavarkihúzó erő	kN	60	58	58

8. táblázat. A Sicut aljak fizikai jellemzői

Tulajdonság	Mértékegység	Érték
Anyagsűrűség	kg/m ³	820...900
Nyomószilárdság	MPa	>20,6
Hajlítószilárdság	MPa	60
Rugalmassági modulus (E)	MPa	>2 000
Húzószilárdság	MPa	30
Villamos ellenállás	Ω	2 480
Lineáris hőtágulási együttható	1/°C	7,5×10 ⁻⁵
Csavarkihúzó erő	kN	>50

9. táblázat. Az FFU-aljak alkalmazási adatai

Felhasználás	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Hossz [mm]	Tengelyteher [kN]	Sebeség [km/h]
Folyópályaaljak	100	260	2400	225	≤100
	120				≤120
	140				≤160
	160				≤230
Kitérőaljak	160	260	2600	225	≤160
				250	≤120
Hídgerendák	120	240	2500	225	≤160
	140				
	160				

10. táblázat. Sínadatok

Sínrendszer	Keresztmetszeti terület [cm ²]	Tehetetlenségi nyomaték a vízszintes tengelyre (I_x) [cm ⁴]	Tehetetlenségi nyomaték a vízszintes tengelyre (I_y) [cm ⁴]	Tömeg [kg/m]
MÁV48	61,78	1747	286,7	48,50
54E1	69,77	2337,9	419,2	54,77
60E1	76,70	3038,3	512,3	60,21
– Sínacél hőtágulási együtthatója: $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$ 1/°C. – Sínacél rugalmassági modulusa: $E = 2,1 \times 10^8$ kN/m ² . – Sínleerősítés: bordás alátétlemez négy sínsvarral, Skl-3 típusú leszorító rugóval.				

zó, a vágányban ébredő maximális elméleti nyomóerőértékeket. Ezek nagysága 48-as rendszerű vágány esetében 1800 kN, 54-es rendszerű vágánynál 2000 kN

és 60-as rendszerű vágánynál 2200 kN. Tehát a kivetődéssbiztonság terheletlen vágányban mindaddig rendben van, amíg a nyomóerő kisebb a kritikus értéknél.

A vízszintes síkú kivetődés vizsgálata egyenes vágányban

Egyenes vágány vízszintes síkban történő kivetődése szempontjából az úgynevezett B jelű fekvéshiba (ℓ hosszúságú teljes hullám két, ellenkező oldalon fekvő f fekvéshiba-húrmagassággal) a veszélyes. A kivetődést okozó legkisebb (legveszélyesebb) kritikus nyomóerő (2) és a kritikus hőmérséklet-emelkedés (3) számítási képlete:

$$F_{kr \min B} = 2,9 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot 2 \cdot I_y}{f}} q + \frac{2r}{k} \quad (2)$$

$$\Delta T_{krit} = \frac{F_{kr \min B}}{\alpha \cdot E \cdot 2 \cdot A} \quad (3)$$

A számítási eredményeket jó szerkezeti állapotú felépítményre ($r = 50$ kNm/rad és $q = 5$ kN/m) az 5. és 6. ábrák mutatják.

Az 5. és 6. ábra alapján a következő megállapítások tehetők:

- A kritikus nyomóerőértékek 48-as rendszerű vágányban a legalacsonyabbak és a 60-as rendszerű vágányban a legmagasabbak. Tehát egyenes hézagnélküli vágány kivetődésbiztonsága szempontjából a nagyobb sínrendszer alkalmazása kedvezőbb.

- A vágány fekvésgeometriai állapotát jellemző fekvéshiba-amplitúdó jelentős hatással van a kritikus nyomóerő értékre. Amennyiben $f \leq 15$ mm, valamennyi sínrendszer esetén elégséges a kivetődésbiztonság mértéke.

A vágány fekvésgeometriai állapota hatásának alaposabb vizsgálatához a kritikus nyomóerő változását a fekvéshiba hossza és a különböző hibanagyságok függvényében érdemes elvégezni. A számítási kifejezés:

$$F_{kr B} = 80 \cdot \frac{E \cdot 2 \cdot I_y}{\ell^2} + \frac{2 \cdot r}{k} + \frac{\ell^2}{39 \cdot f} \cdot q \quad (4)$$

A szerkezet állapotát jellemző változók értékei a következők:

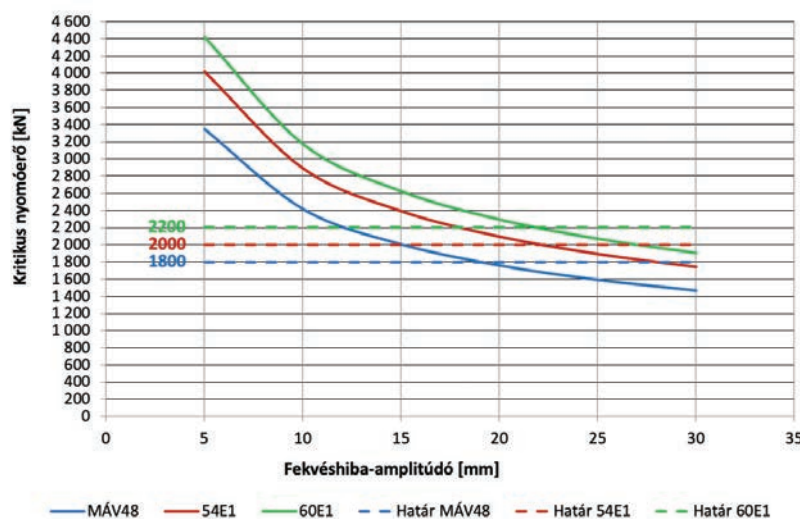
- jó állapotú vágányban $r = 50$ kNm/rad, $q = 5$ kN/m,
- közepes állapotú vágányban $r = 40$ kNm/rad, $q = 4$ kN/m,
- rossz állapotú vágányban $r = 30$ kNm/rad, $q = 3$ kN/m.

A jó szerkezeti állapotú, 60-as rendszerű vágányra vonatkozó eredményeket a 7. ábra mutatja. 48-as és 54-es rendszerű vágányoknál a görbék futása hasonló, a kritikus erő minimális értéke azonban erősen eltérő.

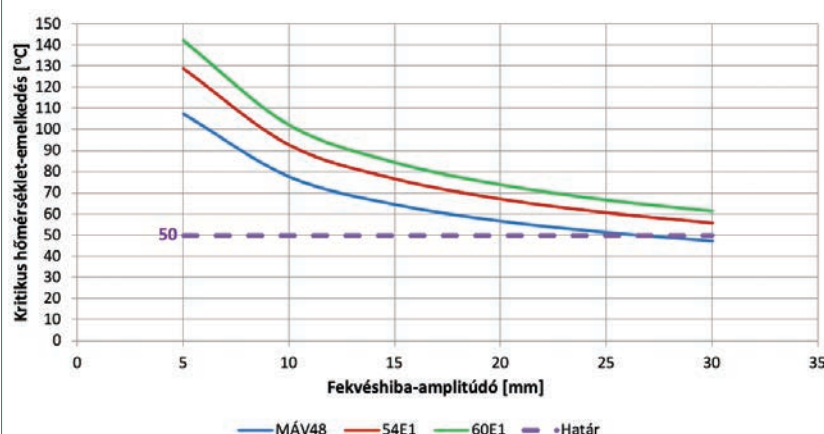
A számítási eredményeket a 12. táblázat

11. táblázat. Ébredő maximális nyomóerők hőmérséklet-növekedésből

Sínrendszer	Ébredő nyomóerő	
	Egy sínszámban	Vágányban
MÁV48	778 kN	1 557 kN
54E1	879 kN	1 758 kN
60E1	966 kN	1 932 kN



5. ábra. Kritikus nyomóerőértékek egyenes vágányban, vízszintes síkban



6. ábra. Kritikus hőmérséklet-emelkedés egyenes vágányban, vízszintes síkban

foglalja össze. A megállapított 1800–2000–2200 kN határértékre nem megfelelő esetek sötétebb szürke alászínezéssel vannak jelölve a 12–15. és 17–19. táblázatokban.

A közepes és rossz szerkezeti állapotú vágány eredményeit a 13. és 14. táblázat közli.

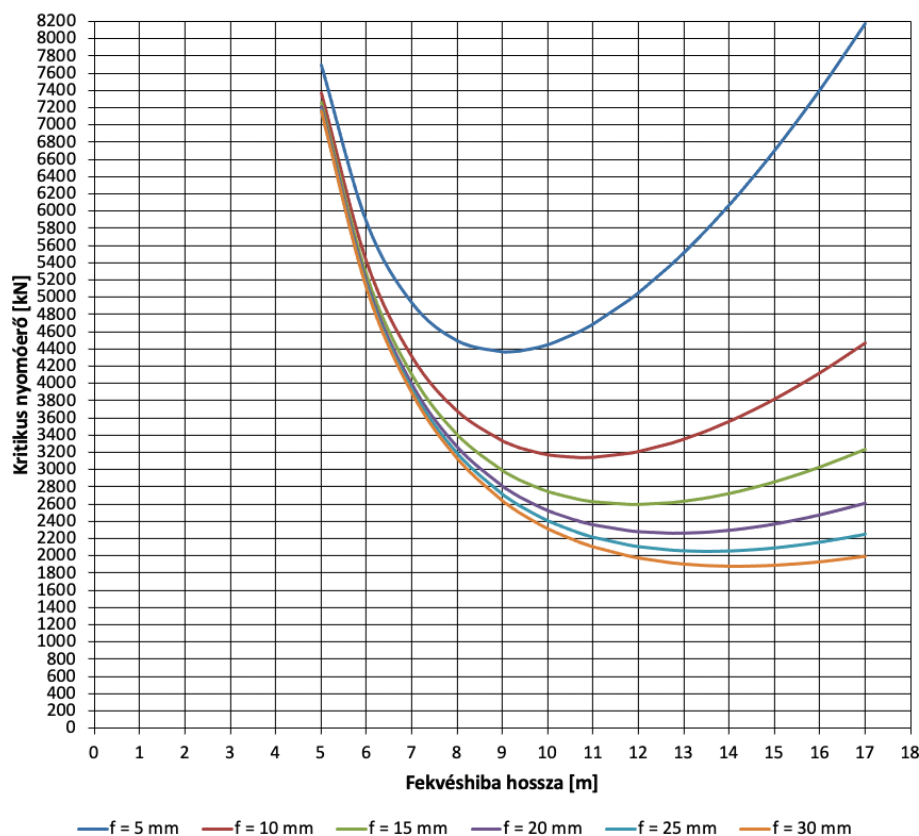
A 12–14. táblázatok mutatják, hogy a felépítmény szerkezeti állapota (keretmreveség, ágyazat oldalirányú ellenállása)

milyen jelentős hatású tényező a kivetődésbiztonság szempontjából. Ha mindehhez még kedvezőtlen fekvésgeometriai állapot is társul ($f \leq 15$ mm), akkor az állékonyosság nem teljesül.

A függőleges síkú kivetődés vizsgálata egyenes vágányban

Egyenes vágány függőleges síkban történő

7. ábra.
A kritikus nyomóerő
nagyságának ala-
kulása a fekvéshiba
hossza és különböző
hibanagyságok
függvényében 60-as
rendszerű egyenes
vágányban, vízszin-
tes síkban



kivetődése szempontjából az úgynevezett A jelű fekvéshiba (ℓ hosszúságú félhullám f fekvéshiba-húrmagassággal) a veszélyes. A kivetődést okozó legkisebb kritikus nyomóerő számítási képletében (6) a g a vágány folyóméterre jutó súlyereje, I_x a sínszál vízszintes tengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka.

$$F_{kr \min A} = 4 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot 2 \cdot I_x}{f}} g \quad (5)$$

$$\Delta T_{krit} = \frac{F_{kr \min A}}{\alpha \cdot E \cdot 2 \cdot A} \quad (6)$$

A vágány folyómétertömegébe a két sínszál, a keresztaljak és a sínleerősítések

egy méterre jutó tömegét kell beleszámítani (15. táblázat).

A számítási eredmények a 16. táblázatban szerepelnek.

A minimális kritikus nyomóerők $f = 30$ mm hibanagyságnál adódtak. Ezek lényegesen magasabbak, mint a 11. táblázat adatai alapján megállapított 1800–2000–

12. táblázat. A kritikus nyomóerő nagyságának alakulása a fekvéshiba hossza és különböző hibanagyságok függvényében – jó állapotú vágány

48-as rendszerű vágány			54-es rendszerű vágány			60-as rendszerű vágány		
F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]	F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]	F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]
5	7,8	3310	5	8,6	3968	5	9,1	4369
10	9,3	2389	10	10,2	2854	10	10,8	3138
15	10,3	1981	15	11,3	2361	15	11,9	2593
20	11,1	1738	20	12,2	2067	20	12,8	2268
25	11,7	1572	25	12,9	1866	25	13,5	2046
30	12,3	1450	30	13,5	1718	30	14,2	1882

13. táblázat. A kritikus nyomóerő nagyságának alakulása a fekvéshiba hossza és különböző hibanagyságok függvényében – közepes állapotú vágány

48-as rendszerű vágány			54-es rendszerű vágány			60-as rendszerű vágány		
F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]	F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]	F [mm]	ℓ [m]	P_{kr} [kN]
5	8,3	2945	5	9,1	3533	5	9,6	3892
10	9,8	2121	10	10,8	2537	10	11,4	2791
15	10,9	1757	15	12,0	2096	15	12,6	2303
20	11,7	1539	20	12,9	1833	20	13,5	2012
25	12,4	1391	25	13,6	1654	25	14,3	1814
30	13,0	1281	30	14,2	1521	30	15,0	1668

14. táblázat. A kritikus nyomóerő nagyságának alakulása a fekvéshiba hossza és különböző hibanagyságok függvényében – rossz állapotú vágány

48-as rendszerű vágány			54-es rendszerű vágány			60-as rendszerű vágány		
F [mm]	l [m]	P _{kr} [kN]	F [mm]	l [m]	P _{kr} [kN]	F [mm]	l [m]	P _{kr} [kN]
5	8,9	2568	5	9,8	3077	5	10,3	3388
10	10,6	1855	10	11,6	2215	10	12,2	2435
15	11,7	1539	15	12,9	1833	15	13,5	2012
20	12,6	1351	20	13,8	1605	20	14,5	1761
25	13,3	1222	25	14,6	1450	25	15,4	1589
30	13,9	1127	30	15,3	1335	30	16,1	1462

2200 kN maximális nyomóerőértékek. Valamennyi kritikus hőmérséklet-emelkedési érték meghaladta a 92 °C nagyságot. Tehát a vizsgált szintetikus keresztaljakkal épített hézag nélküli vágányban függőleges kivetődésveszély nincs.

A vízszintes síkú kivetődés vizsgálata íves vágányban

Íves vasúti vágány esetén a legkisebb kritikus erő értéke így számítható:

$$F_{kr \min R} = 4 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot 2 \cdot I_y}{f} \left(q - \frac{F_{kr \min R}}{R} \right) + \frac{2r}{k}} \quad (7)$$

Az $F_{kr \min R}$ kritikus erő az egyenlet mindkét oldalán szerepel. Ahogyan azt a [2] irodalom részletezi, rendezéssel, majd az

$$a = \frac{2 \cdot r}{k}, \quad b = 16 \frac{2E \cdot I_y}{f} q \quad \text{és} \quad c = 16 \frac{2E \cdot I_y}{f \cdot R}$$

helyettesítések alkalmazásával az alábbi másodfokú egyenletre jutunk, amely már könnyen megoldható:

$$F_{kr \min R}^2 - (2a - c) \cdot F_{kr \min R} + (a^2 - b) = 0 \quad (8)$$

A kritikus hőmérséklet-emelkedés számítása:

$$\Delta T_{krR} = \frac{F_{kr \min R}}{\alpha \cdot E \cdot 2 \cdot A} \quad (9)$$

MÁV48-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú ($r = 50$ kNm/rad, $q = 5$ kN/m) vágány esetén a 8. és 9. ábrán látható értékek adódnak.

A 8. és 9. ábra alapján kijelenthető, hogy jó szerkezeti és fekvésgeometria állapotú ($f = 5$ mm) 48-as rendszerű, zúzottkő ágyazatos hézag nélküli vágány esetén a legkisebb körívsugár 450 méterre vehető fel. Ez 10%-kal kisebb, mint a régi 48-as rendszerű faaljas hézag nélküli vágányokra megállapított $R_{\min} = 500$ m ívsugárértékkel.

60-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú ($r = 50$ kNm/rad, $q = 5$ kN/m) vágány esetén a 10. ábrán látható kritikus nyomóerőértékek adódnak.

15. táblázat. A vágányok fajlagos súlya

A vasúti vágány súlyereje kN/m-ben, ha			
az alj típusa	a sínrendszer		
	MÁV48	54E1	60E1
FFU, 260 × 160 × 2 600 mm	2,1	2,2	2,2
STRAILway 260 × 160 × 2 600 mm	2,9	3,0	3,0
Pioonier P60 260 × 160 × 2 600 mm	2,5	2,4	2,6
Sicut 254 × 152 × 2 600 mm	2,3	2,3	2,4

16. táblázat. Kritikus nyomóerőértékek

Kritikus nyomóerő kN-ban, ha					
a felépítmény	a fekvéshiba mm-ben	a szintetikus keresztalj típusa			
		FFU	STRAILway	Pioonier	Sicut
48-as rendszerű	5	7 022	8 252	7 662	7 349
	10	4 965	5 835	5 418	5 196
	15	4 054	4 764	4 423	4 243
	20	3 511	4 126	3 831	3 674
	25	3 140	3 690	3 426	3 286
	30	2 867	3 369	3 128	3 000
54-es rendszerű	5	8 123	9 709	8 684	8 501
	10	5 744	6 865	6 140	6 011
	15	4 690	5 605	5 014	4 908
	20	4 062	4 854	4 342	4 251
	25	3 633	4 342	3 884	3 802
	30	3 316	3 964	3 545	3 471
60-as rendszerű	5	9 478	11 068	10 304	9 900
	10	6 702	7 826	7 286	7 000
	15	5 472	6 390	5 949	5 716
	20	4 739	5 534	5 152	4 950
	25	4 239	4 950	4 608	4 427
	30	3 869	4 519	4 207	4 042

A 10. ábra alapján 60-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú hézag nélküli vágány határsugara $R_{\min} = 500$ méterre vehető fel.

A jó, a közepes és a rossz szerkezeti állapotú vágányra vonatkozó kritikus nyomóerőértékeket a három sínrendszer esetére a 17–19. táblázatok foglalják össze. A határerőkre nem megfelelő esetek sötétebb szürke alászínezéssel vannak jelölve.

A 17–19. táblázatban szereplő értékek összehasonlítása kiválóan mutatja, hogy milyen érzékeny a hézag nélküli vágány

a szerkezeti és fekvésgeometria állapotára. Például jó fekvésgeometria állapotú vágány ($f = 5$ mm) esetén a határsugár mindhárom vágányrendszerrel $R_{\min} = 500$ m-re vehető fel, jó szerkezeti állapot mellett. Közepes szerkezeti állapotú vágány esetén $R_{\min} 48 = R_{\min} 54 = 600$ m, $R_{\min} 60 = 700$ m, míg rossz szerkezeti állapotú vágánynál $R_{\min} 48 = 800$ m, $R_{\min} 54 = 900$ m, $R_{\min} 60 = 1000$ m.

A fekvésgeometria állapot romlása (növekvő f -értékek) is erősen befolyásolja a

Dr. Horvát Ferenc okleveles építőmérnök, vasútépítési és -fenntartási szakmérnök, műszaki doktor, a közlekedéstudomány kandidátusa. 1975 és 2016 között – nyugdíjba meneteléig – volt a Széchenyi István Egyetem, illetve annak jogelődeinek oktatója, eközben a Vasúti Pálya és Geodézia Tanszék vezetője, az Építési Intézet igazgatója, majd fakultási, illetve intézeti igazgatóhelyettes. A BSc és MSc szintű oktatás keretében a vasúti pálya tervezésével, építésével, fenntartásával foglalkozó tárgyakat oktatott. A Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola oktatója és sikeres doktori témák vezetője. Oktatói tevékenysége mellett jelentős kutatás-fejlesztési munkákat is végzett. Több szakkönyv társszerzője, számos cikket, tanulmányt írt magyar, angol és német nyelven. Jelentős mértékben közreműködött a vasúti pálya kialakítására vonatkozó MÁV-utasítások korszerűsítésében. Gyakorlati szakmai tevékenysége során több tucat új nagyvasúti, illetve közúti vasúti felépítményszerkezeti megoldás megfelelőségét vizsgálta. Tudományos konferenciák, kamarai továbbképzések kedvelt és elismert előadója. Munkáját a legutóbbi időben is különböző kitüntetésekkel ismerték el: Arany mérőföldő-díj 2019, Vasútert kitüntetés 2020.

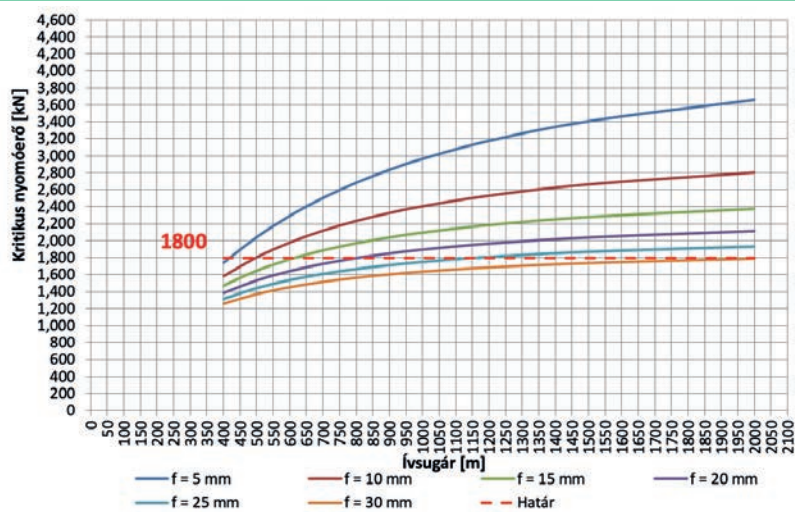
kivetődésbiztonságot jó szerkezeti állapotú vágányban. Már 5 mm-es hibaamplitúdó-növekedés is jelentősen csökkenti a kritikus erő értékét.

Ha pedig halmozottan kedvezőtlen a helyzet, azaz rossz a vágány szerkezeti és fekvésgeometriai állapota is ($f \geq 15$ mm), akkor a 19. táblázat szerint $R < 1000$ m sugarú ívek esetében már valószínűsíthető a kivetődés bekövetkezése.

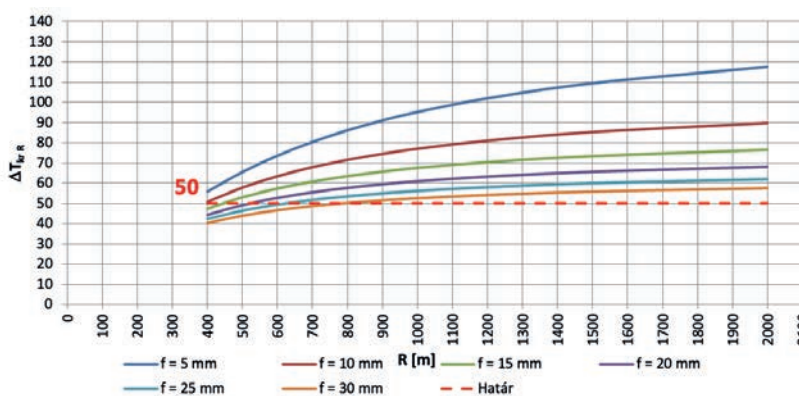
Összefoglalás

A cikkben közölt számítási eredmények alapján szintetikus aljakkal épített, zúzottkő ágyazatos, hézag nélküli vágány létesítésével kapcsolatosan, elsősorban a kivetődésbiztonságra tekintettel, az alábbi általános megállapítások tehetők:

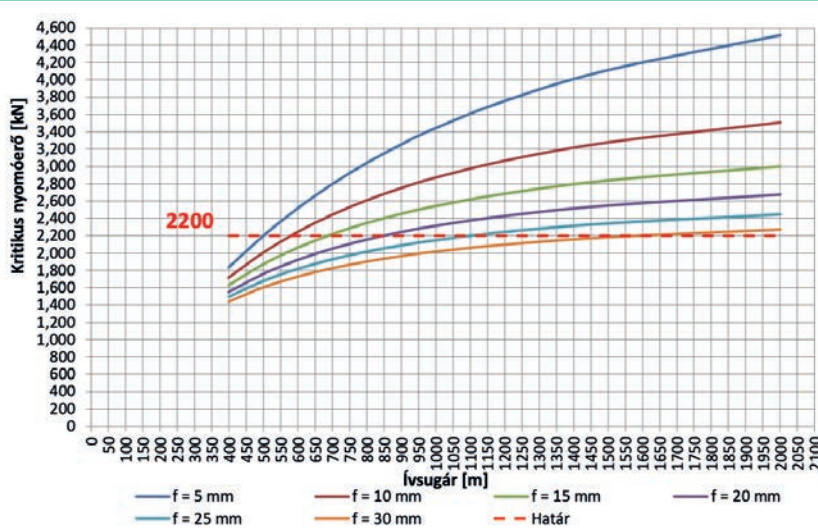
- A vágányok 48-as vagy nagyobb rendszerű sínekkel építendőek.
- Osztott sínleerősítések alkalmazandók, bordás alátétlemezzel és négy síncsavarral.
- A sínleerősítés elforgás-ellenállása az



8. ábra. Kritikus nyomóerőértékek vízszintes síkban 48-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú íves vágányban



9. ábra. Kritikus hőmérsékletemelkedés-értékek vízszintes síkban 48-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú íves vágányban



10. ábra. Kritikus nyomóerőértékek vízszintes síkban 60-as rendszerű, jó szerkezeti állapotú íves vágányban

17. táblázat. Kritikus nyomóerőértékek jó szerkezeti állapotú vágány esetén

Kritikus nyomóerő kN-ban, ha											
a felépítmény	a fekvéshiba mm-ben	az ívsugár méterben									
		400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	2000
48-as rendszerű	5	1 742	2 043	2 295	2 506	2 684	2 836	2 966	3 177	3 409	3 661
	10	1 583	1 804	1 978	2 117	2 231	2 325	2 403	2 528	2 660	2 800
	15	1 471	1 647	1 782	1 887	1 971	2 040	2 097	2 187	2 281	2 379
	20	1 384	1 532	1 643	1 728	1 796	1 851	1 896	1 966	2 039	2 115
	25	1 315	1 443	1 537	1 609	1 666	1 712	1 749	1 808	1 868	1 930
	30	1 258	1 371	1 453	1 516	1 565	1 604	1 636	1 686	1 737	1 790
54-es rendszerű	5	1 809	2 151	2 446	2 702	2 922	3 113	3 280	3 555	3 863	4 207
	10	1 676	1 941	2 157	2 333	2 480	2 603	2 708	2 875	3 056	3 250
	15	1 577	1 795	1 966	2 103	2 214	2 306	2 383	2 505	2 635	2 772
	20	1 497	1 683	1 826	1 939	2 029	2 103	2 165	2 261	2 363	2 470
	25	1 432	1 595	1 718	1 814	1 890	1 953	2 004	2 084	2 168	2 256
	30	1 376	1 522	1 631	1 714	1 781	1 834	1 879	1 947	2 019	2 093
60-as rendszerű	5	1 838	2 200	2 518	2 797	3 040	3 254	3 442	3 755	4 111	4 513
	10	1 720	2 008	2 246	2 445	2 611	2 752	2 873	3 067	3 279	3 509
	15	1 628	1 869	2 061	2 217	2 345	2 452	2 542	2 685	2 838	3 001
	20	1 553	1 761	1 924	2 053	2 158	2 244	2 316	2 430	2 550	2 677
	25	1 491	1 674	1 815	1 926	2 015	2 088	2 148	2 243	2 343	2 447
	30	1 437	1 602	1 727	1 824	1 902	1 965	2 017	2 098	2 183	2 272

18. táblázat. Kritikus nyomóerőértékek közepes szerkezeti állapotú vágány esetén

Kritikus nyomóerő kN-ban, ha											
a felépítmény	a fekvéshiba mm-ben	az ívsugár méterben									
		400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	2000
48-as rendszerű	5	1 426	1 687	1 909	2 098	2 261	2 400	2 521	2 719	2 938	3 181
	10	1 312	1 509	1 667	1 796	1 902	1 990	2 064	2 183	2 310	2 446
	15	1 227	1 388	1 512	1 611	1 690	1 756	1 810	1 896	1 987	2 083
	20	1 161	1 297	1 400	1 481	1 545	1 597	1 641	1 709	1 780	1 854
	25	1 107	1 226	1 314	1 383	1 437	1 481	1 517	1 573	1 631	1 692
	30	1 062	1 167	1 245	1 305	1 351	1 389	1 420	1 469	1 519	1 570
54-es rendszerű	5	1 473	1 764	2 021	2 246	2 443	2 616	2 768	3 022	3 311	3 639
	10	1 379	1 612	1 805	1 966	2 101	2 215	2 313	2 471	2 644	2 831
	15	1 307	1 502	1 658	1 784	1 888	1 975	2 048	2 164	2 289	2 422
	20	1 247	1 416	1 548	1 653	1 738	1 808	1 867	1 959	2 057	2 161
	25	1 198	1 347	1 461	1 551	1 623	1 683	1 732	1 809	1 890	1 976
	30	1 155	1 289	1 390	1 469	1 532	1 584	1 626	1 693	1 762	1 835
60-as rendszerű	5	1 493	1 799	2 072	2 316	2 532	2 723	2 894	3 181	3 512	3 893
	10	1 410	1 661	1 873	2 052	2 204	2 334	2 446	2 629	2 830	3 052
	15	1 344	1 558	1 732	1 875	1 994	2 093	2 178	2 314	2 460	2 618
	20	1 289	1 476	1 625	1 744	1 842	1 924	1 992	2 101	2 217	2 340
	25	1 243	1 409	1 539	1 642	1 726	1 795	1 853	1 944	2 040	2 142
	30	1 202	1 352	1 468	1 559	1 633	1 693	1 743	1 821	1 904	1 990

üzem során tartós értékű legyen és érje el az 50 kNm/rad értéket.

– A szintetikus keresztaljak feladatukra bizonyítottan megfelelőek legyenek (statikus, dinamikus és fárasztó teherbírás, síncsavarok kihúzóereje, elektromos ellenállás, időjárás-állóság).

– Az ágyazat oldalirányú ellenállásának megfelelő nagysága az egyik legfontosabb követelmény; értéke ne legyen kisebb 5 kN/m-nél és az tartósan biztosítandó (ágyazatváll szélessége, ágyazat tömörsége).

– A vágány fekvésgeometriai állapota is

alapvetően fontos, a megfelelő minőséget az üzemtetés során állandóan biztosítani kell:

✓ egyenes vágányban, vízszintes síkban még közepes fekvésgeometriai állapotnál ($f \leq 15$ mm hibaamplitúdó a kritikus hullámhossztartományban) sincsen kivetődésveszély,

19. táblázat. Kritikus nyomóerőértékek rossz szerkezeti állapotú vágány esetén

Kritikus nyomóerő kN-ban, ha											
a felépítmény	a fekvés- hi- ba mm- ben	az ívsugár méterben									
		400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	2000
48-as rendszerű	5	1 097	1 310	1 496	1 659	1 800	1 923	2 032	2 212	2 415	2 643
	10	1 023	1 191	1 329	1 444	1 540	1 620	1 689	1 800	1 920	2 051
	15	966	1 106	1 217	1 307	1 380	1 441	1 492	1 573	1 660	1 752
	20	920	1 041	1 134	1 208	1 268	1 317	1 358	1 422	1 490	1 562
	25	882	988	1 069	1 132	1 183	1 224	1 258	1 312	1 368	1 427
	30	850	945	1 016	1 071	1 115	1 151	1 181	1 227	1 275	1 325
54-es rendszerű	5	1 125	1 359	1 570	1 758	1 926	2 076	2 210	2 437	2 700	3 005
	10	1 067	1 261	1 426	1 566	1 686	1 789	1 878	2 024	2 185	2 363
	15	1 020	1 186	1 323	1 435	1 530	1 609	1 677	1 785	1 903	2 031
	20	980	1 126	1 243	1 338	1 416	1 481	1 536	1 623	1 717	1 816
	25	946	1 077	1 179	1 262	1 329	1 384	1 430	1 503	1 581	1 663
	30	916	1 035	1 127	1 199	1 258	1 306	1 346	1 409	1 476	1 546
60-as rendszerű	5	1 137	1 381	1 603	1 805	1 986	2 150	2 298	2 552	2 851	3 203
	10	1 087	1 293	1 472	1 626	1 760	1 876	1 977	2 144	2 331	2 540
	15	1 045	1 225	1 375	1 501	1 608	1 698	1 776	1 902	2 040	2 191
	20	1 008	1 168	1 299	1 406	1 495	1 570	1 634	1 735	1 845	1 964
	25	977	1 121	1 237	1 330	1 407	1 471	1 525	1 611	1 703	1 800
	30	949	1 081	1 185	1 268	1 336	1 392	1 439	1 513	1 592	1 675

✓ egyenes vágányban, függőleges síkban nincsen kivetődésveszély,

✓ íves vágányban, jó szerkezeti és fekvésgeometria esetén a határsugár, függetlenül a sínrendszertől, $R_{\min} = 500$ m, míg közepes vágányállapot esetén $R_{\min} = 700$ m.

A cikkben leírtak bizonyítják, hogy kivetődésbiztonsági szempontból legfontosabb tényezők a sínleerősítés elforgás-ellenállása (r), az ágyazat oldalirányú ellenállása (q) és a vágány fekvésgeometria minősége. A számítások szakirodalmi értékekkel történtek. Ahhoz, hogy a D.12/H. utasítás a szintetikus aljak alkalmazására vonatkozó követelményekkel is kiegészülhessen, laboratóriumi és pályában végrehajtott vizsgálsorozat eredményeire van szükség. Az alkalmazható keresztaljak típusának függvényében ismerni kell:

– az alkalmazandó sínleerősítések elforgás-ellenállását a fenntartottsági állapot függvényében,

– az ágyazat oldalirányú ellenállását az ágyazatváll szélessége és a zúzottkő anyag tömörítettsége függvényében.

Természetesen a szabályozás megalkotásához EK-hitelesítési dokumentumok adatai, értékei felhasználhatók.

Az üzem alatti fekvésgeometria változások ugyanolyan forgalmi és terhelési viszonyok mellett gyorsabb üteműnek valószínűsíthetők, mint beton-aljak vágányokban, a szintetikus aljakkal épített vágány kisebb folyóméretű tömege miatt. Ezért a szintetikus aljakkal kialakított zúzottkő ágyazatos vágányok kivetődésbiztonsági szempontból nagyobb felügyeleti figyelmet igényelnek a beton-aljak vágányokhoz képest. ◀◀

Irodalomjegyzék

- [1] 1/2022. (II. 18. MÁV Ért.1.) EVIG SZ. D.12/H. utasítás. A hézag nélküli felépítmény építése, karbantartása, dokumentálása és felügyelete. Budapest, 2022.
- [2] Dr. Horvát F. Az íves hézag nélküli vágány vízszintes síkú kivetődéssel szembeni állékonyságának számítási módszerei. *Sínek Világa* 2024;2:9-19.
- [3] Dr. Nemesdy E. Vasúti felépítmény. Vasútépítéstan II. Budapest: Tankönyvkiadó; 1966.
- [4] Bericht Nr.3204 vom 10. 11. 2015. Forschungsbericht Laboruntersuchungen zur Ermittlung des Querverschiebewiderstandes von RPT Kunststoffrecyclatbahnschwellen, TU München, Lehrstuhl und Prüfamts für Verkehrswegebau, 10. 11. 2015.

Summary

The article deals with two topics. In the first part it gives an overview of the size and mass data, physical characteristics of the synthetic sleepers already installed in our country. In the second part, calculations are used to determine the boundary conditions which, if fulfilled, allow these sleepers to be safely used in crushed stone ballasted CWR track.