

A sínek igénybevételeinek számítása

Calculation of stress on rails

Drd. BOROICAN Ioan-Lucian¹, Dr. HERMANN Sándor², Dr. KÖLLŐ Gábor³, Drd. MOLNÁR Lajos⁴

^{1,3,4} Kolozsvári Műszaki Egyetem (UTC-N), str. Memorandumului, nr. 28, Kolozsvár,

² Temesvári Műszaki Egyetem (UPT), Piata Victoriei nr. 2, Temesvár

¹ionutz_botoica@yahoo.com, ²hermancristian@yahoo.com, ³kollo-g@yahoo.com, ⁴lajos.molnar@yahoo.com

Abstract

The purpose of this study is to analyze and compare the main stresses of railway rails: the maximum subsidence " y_{max} ", the maximum bed reaction " p_{max} " and the maximum bending moment " M_{max} ", in the case of force conditions acting on conventional and ballastless-track superstructures. In the calculations, we used different rail types and loads, as well as the bedding coefficient of 10 daN/cm³. In the first version, a vertical force will act on both the conventional and the rigid superstructure, in the second case, the vertical load is provided by the 060EA locomotive. The rail types used are: 49E1, 54E1 and 60E1, which comply with the SREN 13674-1:2006 standard, and P65, which complies with the GOSTR51685-2000 standard.

The calculation method is based on the substitute beam principle proposed by Zimmermann in the case of the classic superstructure. The calculation principle is the same for the ballastless-track superstructure, but the width of the replacement longitudinal beam is half the width of the concrete slab, from which it follows that the " b_0 " corresponding to the conventional superstructure will be " b " in the case of the ballastless-track superstructure.

Keywords: railway, stresses of railway, conventional-track, ballastless-track

Kivonat

A jelen tanulmány célja a vasúti sínek fő igénybevételeinek elemzése és összehasonlítása: a maximális süllyedés „ y_{max} ”, a maximális ágyazati reakció „ p_{max} ” és a maximális hajlítónyomaték „ M_{max} ”, konvencionális és merevlemez felépítményekre ható erőviszonyok esetén. A számításokban különböző szintípusokat és terhelést, valamint a 10 daN/cm³ ágyazati együtthatót alkalmaztuk. Első változatban úgy a konvencionális, mint a merev felépítményszerkezetre egy függőleges erő hat majd, a második esetben, a függőleges terhelést a 060EA típusú mozdony biztosítja. A használt szintípusok: 49E1, 54E1 és 60E1, amelyek a SREN 13674-1:2006 -os szabványnak felelnek meg valamint a P65, amely a GOSTR51685-2000 -es szabványnak felel meg.

A számítási módszer a klasszikus felépítmény esetén az először Zimmermann által javasolt helyettesítő gerenda elvén alapul. A merevlemez felépítmény esetén is a számítási elv ugyanaz, de a helyettesítő hosszgerenda szélessége a betonlemez szélességének fele, innen következik, hogy a konvencionális felépítménynek megfelelő „ b_0 ” a merevlemez felépítmény esetén „ b ” lesz.

Kulcsszavak: vasút, sínek igénybevétele, klasszikus felépítmény, merevlemez felépítmény

1. BEVEZETÉS

A konvencionális (sín, alj, leerősítés, zúzottkő ágyazat) vasút majdnem két évszázados múltra tekint vissza. Az évek során a sebesség és a tengelyterhelés növekedése megkövetelte a konvencionális felépítmény elemeinek, méreteinek, a használt anyagok, a lekötéstípusok, sínillesztések stb. módosítását, de ennek ellenére a felépítményszerkezet nem változott alapjaiban.

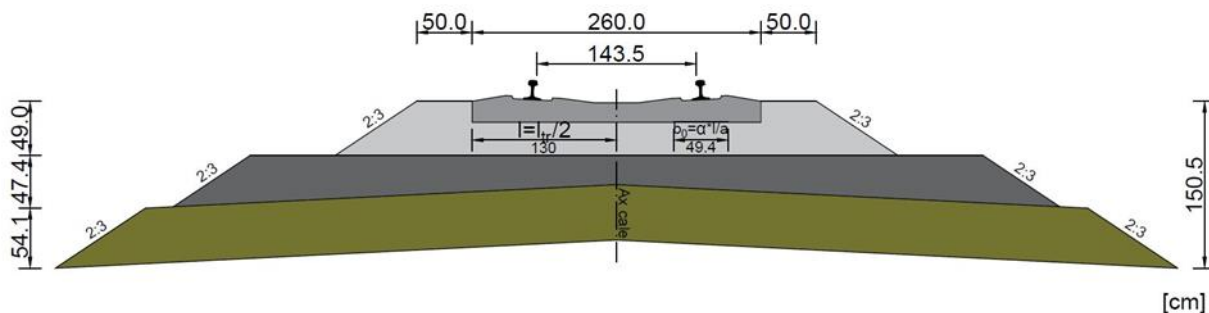
A merevlemez, ágyazat nélküli felépítmények jelentik az új lehetőséget a konvencionális felépítményekkel szemben. Ezek bevezetését a konvencionális vasúti pályák állandó és költséges karbantartásának szükségessége eredményezte, főleg azon a vasutakon, ahol a maximális sebesség és a tengelyterhelés is növekedtek.

A merevlemez pályák esetén a betonlemez vette át az ágyazat szerepét. Napjainkban a legelterjedtebb merevlemez felépítményrendszerek a következők: Bögl, ÖBB-PORR, Rheda, Shinkansen és Edilon. Ezeket világszerte, főleg nagysebességű vasutaknál és a városi kötöttpályáknál használják.

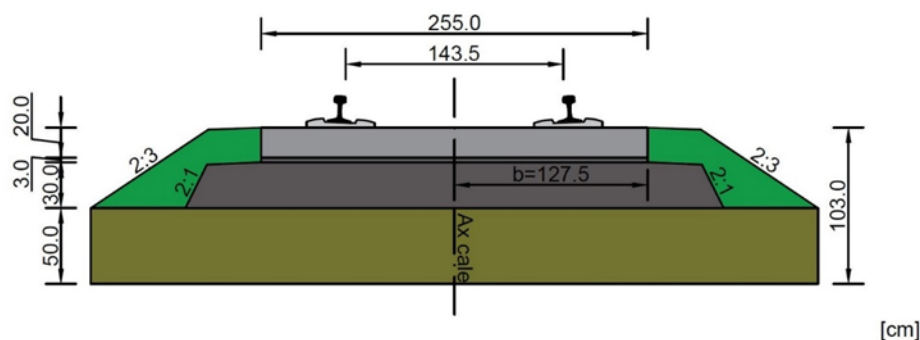
2. A SÍNEK IGÉNYBEVÉTELÉNEK ANALITIKUS SZÁMÍTÁSA

Ebben a fejezetben a maximális süllyedés (y_{\max}), a maximális ágyazati reakció (p_{\max}) és a maximális hajlítónyomaték (M_{\max}) számításával foglalkozunk statikus teher és 060EA típusú villanymozdonynak megfelelő függőleges terhelés esetén, úgy a konvencionális, mint a merev felépítményeknél. A számításokban a 49E1, 54E1, 50E1 és P65 típusú sínek jellemzőit és a $c=10 \text{ daN/cm}^3$ ágyazati tényezőt használjuk.

A konvencionális felépítmény esetén a zúzottkőágyazat kavicsrétegen fekszik, az alépítmény pedig tömör, kötött talaj (2.1 ábra)



2.1 ábra Konvencionális pálya keresztmetszete

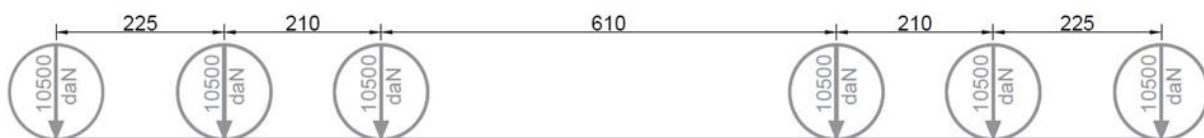


2.2 ábra Merevlemez pálya keresztmetszete

A betonalj T17E2-es típusú, az aljtávolság pedig 60 cm.

Az ágyazatnélküli vágányok esetén a sínek feszített betonlemezre rögzítettek, amelyet 30 cm vastagságú stabilizált rétegre helyeznek (2.2 ábra). Azért, hogy a stabilizált rétegen átadott nyomáelosztás minél egyenletesebb legyen, erre egy 3 cm vastagságú szintezőhabarcsot helyeznek. A feszített vasbeton lemez méretei: 6,5 m hosszúság, 2,55 m szélesség, 20 cm vastagság, a leerősítések közötti távolság pedig 65 cm.

A tengelyteher 21000 daN, a kerékterhelés 10500 daN. A 060EA mozdonynak megfelelő kerékterhelést a 2.3 ábra szemlélteti.



2.3 ábra A 060EA mozdony kerékterhelése

A számítások elvégzéséhez a következő közös értékeket használtuk:

- a sínanyag rugalmassági modulusa: $E_s=210000 \text{ daN/cm}^2$;
- a sín tehetetlenségi nyomatéka: $I_{s49E1}=1816 \text{ cm}^4$, $I_{s54E1}=2337,9 \text{ cm}^4$, $I_{s60E1}=3038,3 \text{ cm}^4$, $I_{SP65}=3540 \text{ cm}^4$;
- az ágyazati tényező: $c=10 \text{ daN/cm}^3$;

- a betonalj rugalmassági modulusa: $E_t=370000 \text{ daN/cm}^2$;
- az alj tehetetlenségi modulusa: $I_t=15035 \text{ cm}^4$;
- $\alpha=0,82$;
- aljhossz: $l_t= 260 \text{ cm}$; félhossz $l= 130 \text{ cm}$;
- aljszélesség: $b= 27,8 \text{ cm}$;
- a beton lemez rugalmassági modulusa: $E_d= 380000 \text{ daN/cm}^2$;
- a betonlemez félkeresztmetszetének tehetetlenségi nyomatéka: $I_t=85000 \text{ cm}^4$;
- a betonlemez félkeresztmetszetének szélessége: $b= 127,5 \text{ cm}$.

A számítási képletek a 2.1 táblázatban szerepelnek.

Számítási képletek

2.1 Táblázat

Elnevezés	Számítási képlet
A helyettesítő hosszgerenda szélessége	$b_0 = \alpha * \frac{l}{a} * b$
A helyettesítő hosszalj merevségi hossza	$L = \sqrt[4]{\frac{4(E_s * I_s + \alpha * \frac{l}{a} * E_t * I_t)}{\alpha * \frac{l}{a} * b * c}}$
Konvencionális és merev felépítményre érvényes, sebességtől függő, állandó	$\varphi = 1 + \frac{v - 60}{140}$
Konvencionális és merev felépítményre érvényes függvény	$\eta(x) = e^{-\frac{x}{L}} * \left[\cos \frac{x}{L} + \sin \frac{x}{L} \right]$
Konvencionális és merev felépítményre érvényes függvény	$\mu(x) = e^{-\frac{x}{L}} * \left[\cos \frac{x}{L} - \sin \frac{x}{L} \right]$
Konvencionális felépítmény süllyedése a G függőleges teherrel x távolságra	$y(x) = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{G}{2Lb_0c} * \eta(x)$
Konvencionális felépítmény ágyazati reakciója a G függőleges teherrel x táv.	$p(x) = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{G}{2Lb_0} * \eta(x)$
Maximális nyomaték a G teher hatására	$M_{\text{sin} \max} = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{E_s * I_s}{E_s * I_s + \alpha * \frac{l}{a} * E_t * I_t} * \frac{G * L}{4} * \mu(x)$
Maximális süllyedés tehercsoport hatására konvencionális felépítmény esetén	$y_{\max} = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{1}{2Lb_0c} * \sum_{i=1}^n G_i * \eta(x_i)$
Konvencionális felépítmény maximális ágyazati reakciója tehercsoport hatására	$p_{\max} = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{1}{2Lb_0} * \sum_{i=1}^n G_i * \eta(x_i)$
Maximális nyomaték tehercsoport hatására konvencionális felépítmény esetén	$M_{\text{sin} \max} = (1 + t * \delta * \varphi) * \frac{E_s * I_s}{E_s * I_s + \alpha * \frac{l}{a} * E_t * I_t} * \frac{L}{4} * \sum_{i=1}^n G_i * \mu(x_i)$
Helyettesítő hosszgerenda szélessége merevlemez pályán	$b = \frac{l}{2}$
Merevlemez pályán félszélességének tehetetlenségi nyomatéka	$I_t = \frac{b * h^3}{12}$
Merevlemez pályán helyettesítő hosszaljnak merevségi hossza	$L = \sqrt[4]{\frac{4(E_s * I_s + E_d * I_t)}{b * c}}$

A merev felépítményszerkezet esetén az y_{\max} , p_{\max} , és $M_{\text{sin} \max}$ számítási módszere ugyanaz mint a konvencionális felépítmény esetén, de b_0 helyett b helyettesítő hosszaljszélességgel dolgozunk.

Mindkét esetben a maximális értékek a függőleges teher alatti keresztmetszetben találhatóak:

$$\begin{aligned}
 x=0 & \Rightarrow \eta(x) = \eta(0) = 1 & \Rightarrow y(x) = y(0) = y_{\max} \\
 & \mu(x) = \mu(0) = 1 & p(x) = p(0) = p_{\max} \\
 & & M(x) = M(0) = M_{\text{ sín max}}
 \end{aligned}$$

A 060EA mozdony maximális hatást kiváltó pozícióját a felépítmény süllyedés, ágyazati reakció és nyomaték (L_y , L_p , L_M) hatásábrái segítségével számoltuk felhasználva a Microsoft Excel programot. A 2.2 táblázat ezen számítások eredményeit mutatja be.

A számítások eredményei

2.2 Táblázat

Terhelés	Igénybevétel	Sín típus	Konvencionális felépítmény	Merev felépítmény
Függőleges teher $G=10500$ daN	Maximális süllyedés (cm)	49 E1	0.1568	0.0604
		54 E1	0.1539	0.0600
		60 E1	0.1502	0.0594
		P 65	0.1479	0.0590
	Maximális ágyazati reakció (daN/cm ²)	49 E1	1.5684	0.6044
		54 E1	1.5385	0.5999
		60 E1	1.5025	0.5941
		P 65	1.4791	0.5901
	Maximális nyomaték (daNcm)	49 E1	113580.2777	43306.8540
		54 E1	138019.4594	54516.5855
		60 E1	167059.0904	68818.6364
		P 65	185694.0360	78582.4248
060EA mozdony	Maximális süllyedés (cm)	49 E1	0.1698	0.0657
		54 E1	0.1692	0.0656
		60 E1	0.1686	0.0655
		P 65	0.1682	0.0654
	Maximális ágyazati reakció (daN/cm ²)	49 E1	1.6980	0.6571
		54 E1	1.6922	0.6562
		60 E1	1.6860	0.6552
		P 65	1.6824	0.6545
	Maximális nyomaték (daNcm)	49 E1	96597.9038	36753.4624
		54 E1	116473.4658	46127.3789
		60 E1	139615.6063	57999.6100
		P 65	154180.5847	66046.7533

3. EREDMÉNYÉRTÉKELÉS

Az eredményeket a 3.1 ábra szemlélteti. Észrevehető, hogy a merev felépítménynek megfelelő igénybevételek értékei kb. 2,5-ször kisebbek mint a konvencionális felépítmény esetén. Ugyanakkor a merev felépítménynek megfelelő helyettesítő hosszalj szélessége kb. 2,5 -szer nagyobb mint a konvencionális felépítmény esetén, ami azt bizonyítja, hogy minél nagyobb a helyettesítő hosszgerenda szélessége, annál kisebbek a sín igénybevételeit jellemző értékek.

Maximális nyomaték számítása (daNcm)

Konvencionális felépítmény		Koncentrált erő
Konvencionális felépítmény		060EA Mozdony
Merev felépítmény		Koncentrált erő
Merev felépítmény		060EA Mozdony
Maximális ágyazati reakció számítása (daN/cm²)		
Konvencionális felépítmény		Koncentrált erő
Konvencionális felépítmény		060EA Mozdony
Merev felépítmény		Koncentrált erő
Merev felépítmény		060EA Mozdony
Maximális süllyedés számítása (cm)		
Konvencionális felépítmény		Koncentrált erő
Konvencionális felépítmény		060EA Mozdony
Merev felépítmény		Koncentrált erő
Merev felépítmény		060EA Mozdony

3.1 ábra Sínek igénybevétele

A maximális nyomaték értékét gyakorlatilag csak a sín típusa befolyásolja.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott számítások elvégzésével több következtetést vonhatunk le az új típusú merevlemez vasúti pályákkal kapcsolatban. A merev felépítmény igénybevételei jelentősen kisebbek, mint a konvencionális felépítmény esetén. Ugyanakkor mindkét típusú felépítményszerkezetnek meg vannak a maga előnyei és hátrányai.

A merev felépítmény jobban megfelel a nagysebességű vágányok, vasúti alagutak, hidak vagy viaduktok esetén. Az ágyazat nélküli vágány kevésbé veszélyes a több mint 300 km/h sebességgel közlekedő szerelvényre.

A konvencionális felépítmény nagy előnye az alacsonyabb építési költségekkel magyarázható.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Mihai Nechita, Gavril Köllő. Căi Ferate. Ministerul educației și învățământului, Institutul politehnic Cluj-Napoca, 1982
- [2] Gavril Köllő. Căi Ferate. Ministerul educației și învățământului, Institutul politehnic Cluj-Napoca, 1982
- [3] Gavril Köllő. Curs Metode Moderne de Proiectare a Căilor Ferate, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 2015
- [4] Gavril Köllő. Curs Căi Ferate I, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 2013
- [5] Coenraad Esveld. Modern Railway Track digital edition, version 4.0. MRT-productions, 2018

- [6] Vassilios A. Profillidis. Railway Management and Engineering, fourth edition, Ashgate Publishing Limited, Farnham, Surrey, England, 2014
- [7] Die Bedeutung des Patentwesens für die Oberbaukonstruktion Feste Fahrbahn Von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation von Dipl.-Ing. (Univ.) Franz Stadler Patentanwalt European Patent Attorney European Trademark and Design Attorney. Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Iwan Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Siefer Tag der Promotion: 21. November 2008
- [8] Roger Bastin. Development of German non-ballasted track forms. Transport 159 Issue TRI, ICE, UK, 2005
- [9] SR EN 13674-1:2006 Aplicații feroviare. Cale. Șine. Partea 1: Șine cu masa mai mare sau egală cu 46 kg/m
- [10] STAS 8116/1-88 Traverse de beton precomprimat. Traverse pentru căi ferate normale