

Sínhibák, különös tekintettel az RCF hibák hatása a vasúti pályára és annak áteresztőképességére

Készítette: Horváth János

Belső konzulens: Dr. Major Zoltán

Külső konzulens: Horváth Róbert

Széchenyi István Egyetem, Győr

okl. infrastruktúra - építőmérnök, közlekedésépítő specializáció

Diplomamunka tartalmi felépítése

- **Irodalomkutatás**

- Síngyártás bemutatása, gyártásközi minőség ellenőrzés
- Pályaállapot romlási modell
- Kerék - sín érintkezéséből adódó sínhibák
- Méréstechnológia

- **Mérési adatok feldolgozása**

- 1.sz. vv. Budapest - Hegyeshalom 110+00 - 130+00 sz. közötti örvényáramos mérési adatok elemzése
- Jobb és a bal vágány hibatérképének elkészítése

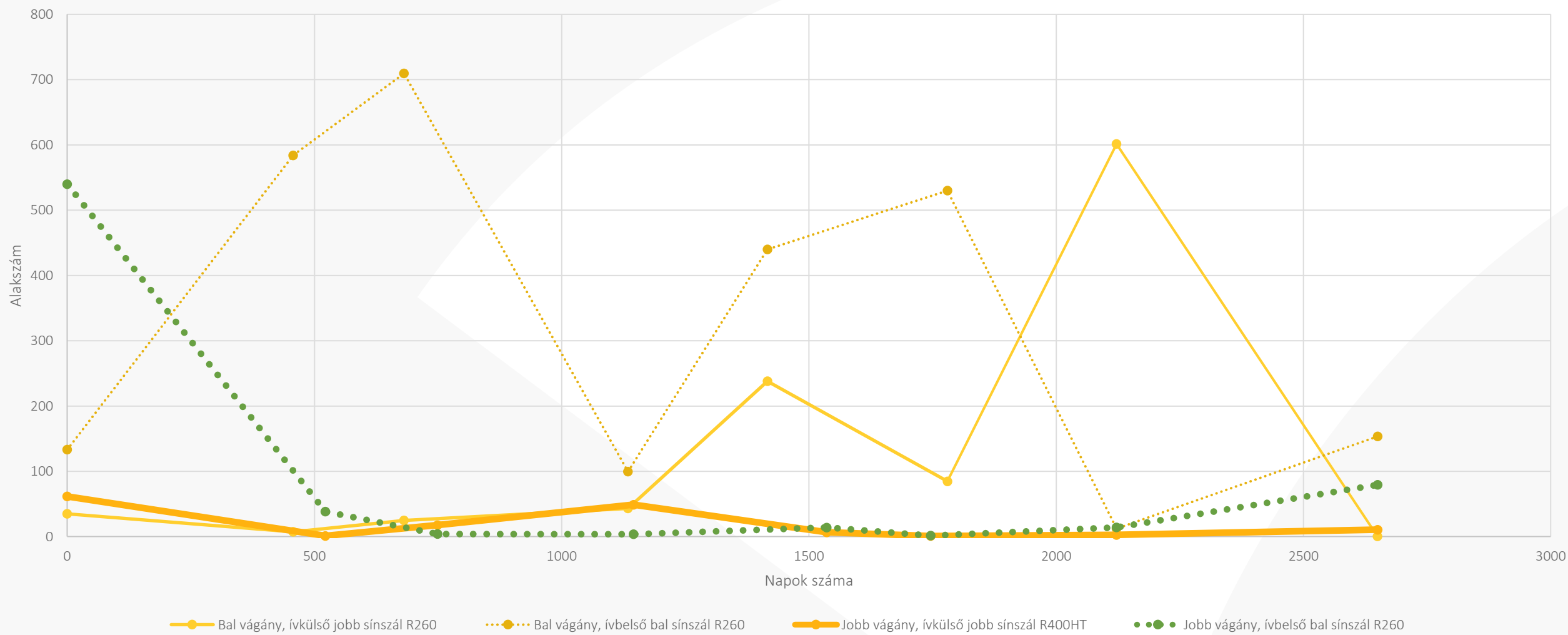
- **Végelem modellezés AXIS szoftver alkalmazásával**

- **Összegzés**

A jobb és bal vágány ívkülső - és ívbelső sínszálak alakszámainak változása (118+20 - 122+80 sz. között)

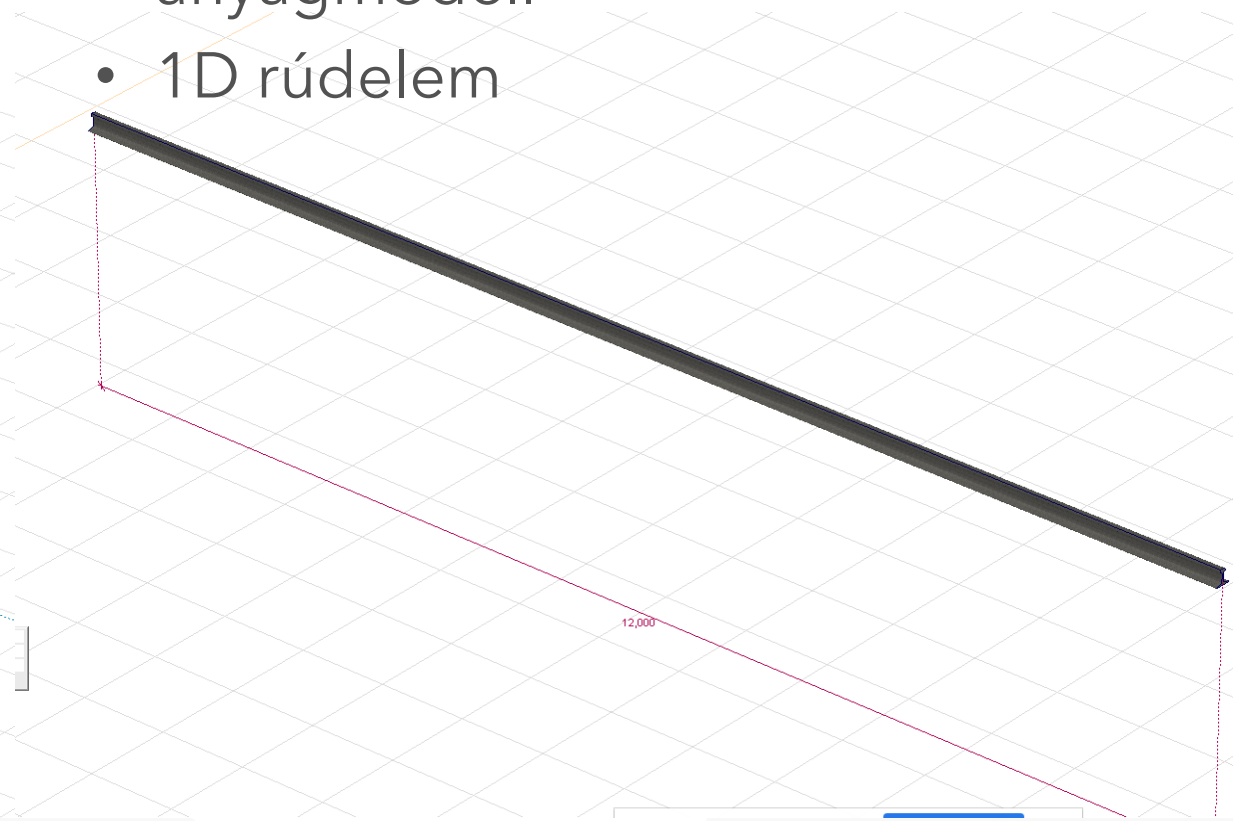
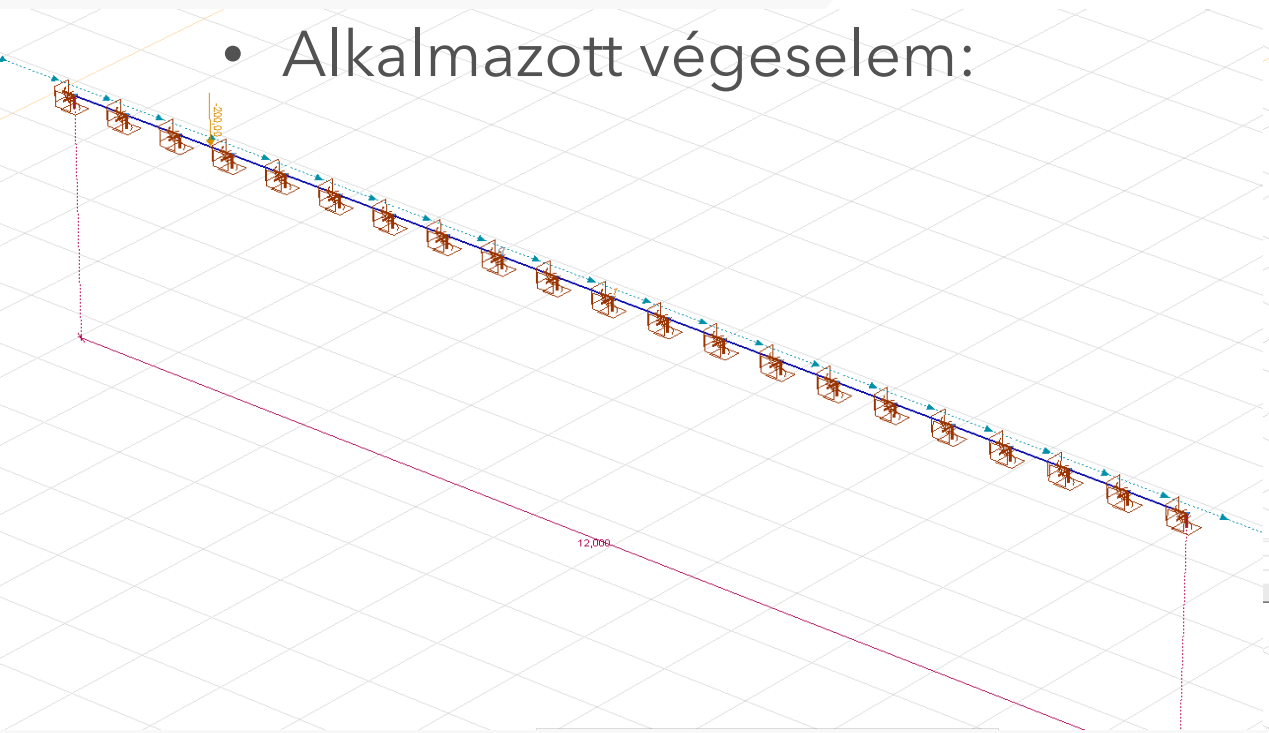
Hibacsökkentő munkálatás: bal vágány

Hibamegszüntető munkálatás: jobb vágány



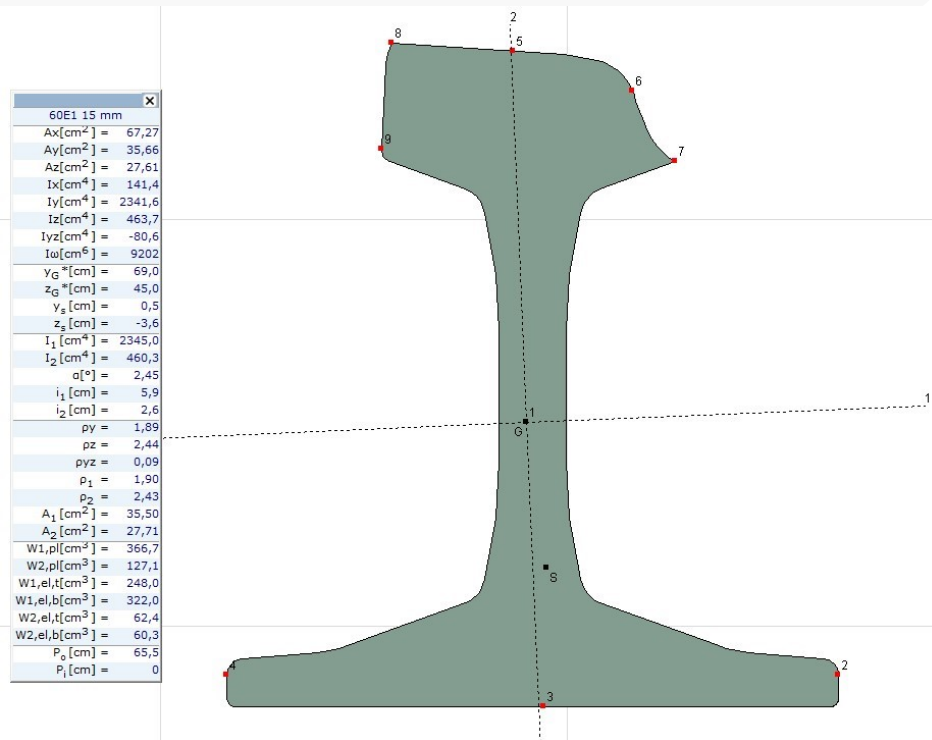
Modellalkotás és alkalmazott közelítések

- Ágyazási tényező:
- Sínszálla számított függőleges rugóállandó:
- Sínszálla számított vízszintes rugóállandó:
- Acél anyaga:
- Alkalmazott végelemem:
- $C = 0,1 \text{ N/mm}^3$ (jó altalaj)
- $K_z = 28500 \text{ N/mm}$ (lin.rug.)
- $K_y = 20000 \text{ N/mm}$ (lin.rug.)
- Lineárisan rugalmas anyagmodell
- 1D rúdelem

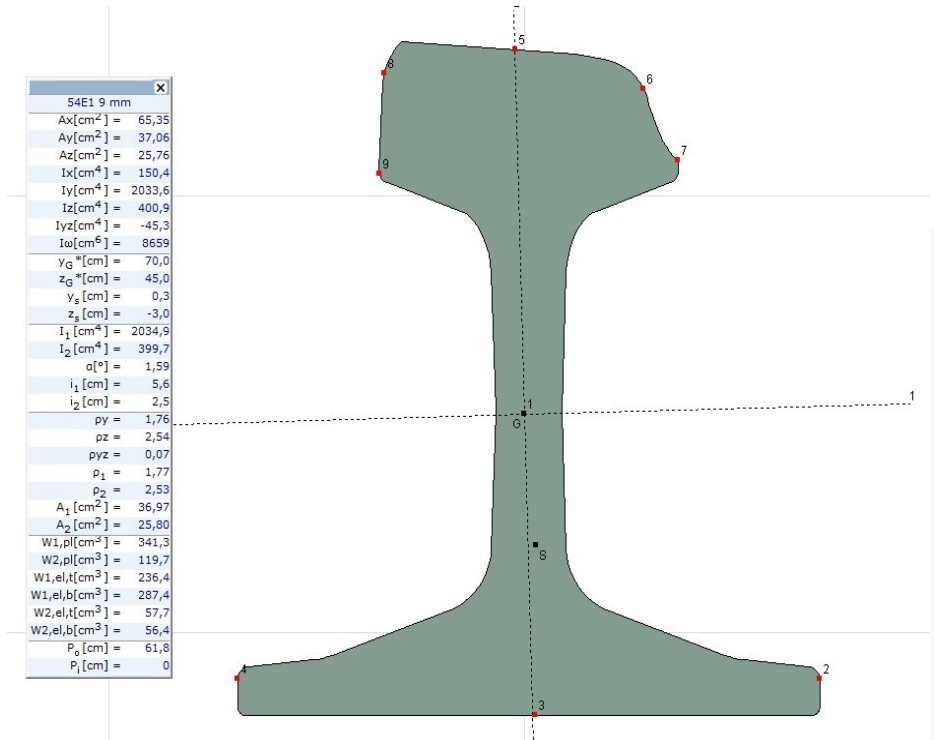


Vizsgált modellek

- Kopott sínek figyelembevételével a 45°-os sínkopás felhasználásával,
- 60E1 sínprofilra 270 db modellt készítettem,
- 54E1 sínprofilra 180 db modellt készítettem,
- Kivölgyelődött hegesztés vizsgálata során további 30 db pályamodelt készítettem,
- Összesen 480 db Axis pályamodelt készítettem és értékeltem ki.



60E1 15 mm 45°-os sínkopással



54E1 9 mm 45°-os sínkopással

- A modellalkotás során az LM71-es tehermodell szerinti tengelyelrendezéssel dolgoztam (4x1,6 m), a vétlen külpontosság figyelembevétele mellett;
- ez alapján a statikus kerékterhelés értéke 125 kN;
- a dinamikus hatásokkal módosított értékeket az Eisenmann - féle összefüggés alapján;
- az ívesség figyelembevétele 1,2 szerez felszorzással.

A kerékterhelés tervezési értéke Eisenmann nyomán

V (km/h)	60	80	100	120	140	160
n	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ϕ	1	1,1429	1,2857	1,4286	1,5714	1,7143
F_z (egyenesben) [kN]	200	210,71	221,43	232,14	242,86	253,57
F_z (ívben) [kN]	240	252,86	265,71	278,57	291,43	304,29

Terhek és hatások

- ívekben a terelőerő ívsugár függvényében került meghatározásra;
- centrifugális erő a megengedett szabványos oldalgyorsulás értéke alapján az Eisenmann - féle összefüggéssel növelve;

Cenfrifugális erő értéke az Eisenmann – féle összefüggéssel növelve

Terelőerő

V=60 km/h	V=80 km/h	V=100 km/h	V=120 km/h	V=140 km/h	V=160 km/h	Ívsugár R (m)	2000	1000	800	600	500	400	300
23,853	25,131	26,409	27,687	28,965	30,242	F _y terelőerő (kN)	15	15	15	20	25	35	50

*Forrás: Bernhard Lichtberger:
Track Compendium 43.oldal, 6. ábra alapján*

Terhek és hatások

• modellezési eredmények kiegészítése a következő paraméterek figyelembevételével történt:

- gyártási feszültség $\sigma_{gy} = 60 \text{ N/mm}^2$;
- hőfeszültség ($\sigma_{hő \text{ nyomó}} = 111,26 \text{ N/mm}^2 (\Delta_t=58 \text{ °C})$; $\sigma_{hő \text{ húzó}} = 143,41 \text{ N/mm}^2 (\Delta_t=45 \text{ °C})$)
- ívbehajlítási feszültség

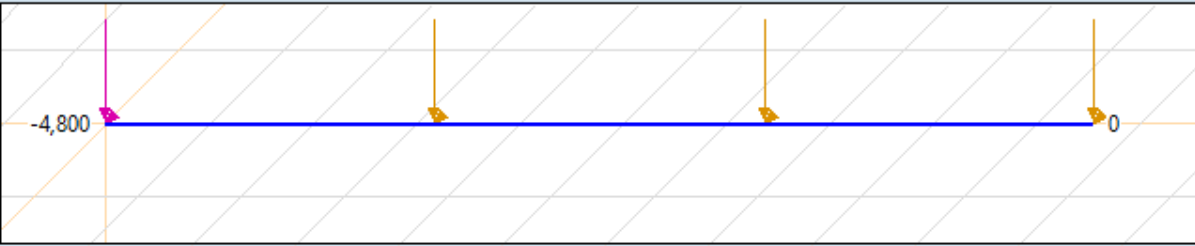
Az ívbehajlításból származó feszültség

Ívsugár R (m)	60E1 sínprofil		54E1 sínprofil	
	σ_R húzó (N/mm ²)	σ_R nyomó (N/mm ²)	σ_R húzó (N/mm ²)	σ_R nyomó (N/mm ²)
2000	8,06	3,87	7,53	3,76
1000	16,13	7,74	15,05	7,53
800	20,16	9,68	18,81	9,41
600	26,88	12,90	25,08	12,54
500	32,25	15,48	30,10	15,05
400	40,31	19,35	37,63	18,81
300	53,75	25,80	50,17	25,08

V=160 km/ pályasebességű, R=2000 m ívsugarú modell teherfelvétele

Mozgó vonalmenti teher megadása

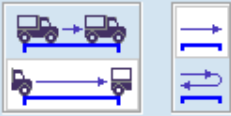
Teherséma



Koncentrált terhek | Megoszló terhek

	Típus	Exc. [m]	Poz. [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]
+	1 Globális	0	-4,800	0	-30,24	-304,29	0	0
×	2 Globális	0	-3,200	0	-30,24	-304,29	0	0
	3 Globális	0	-1,600	0	-30,24	-304,29	0	0
	4 Globális	0	0	0	-45,24	-304,29	0	0

Útvonal



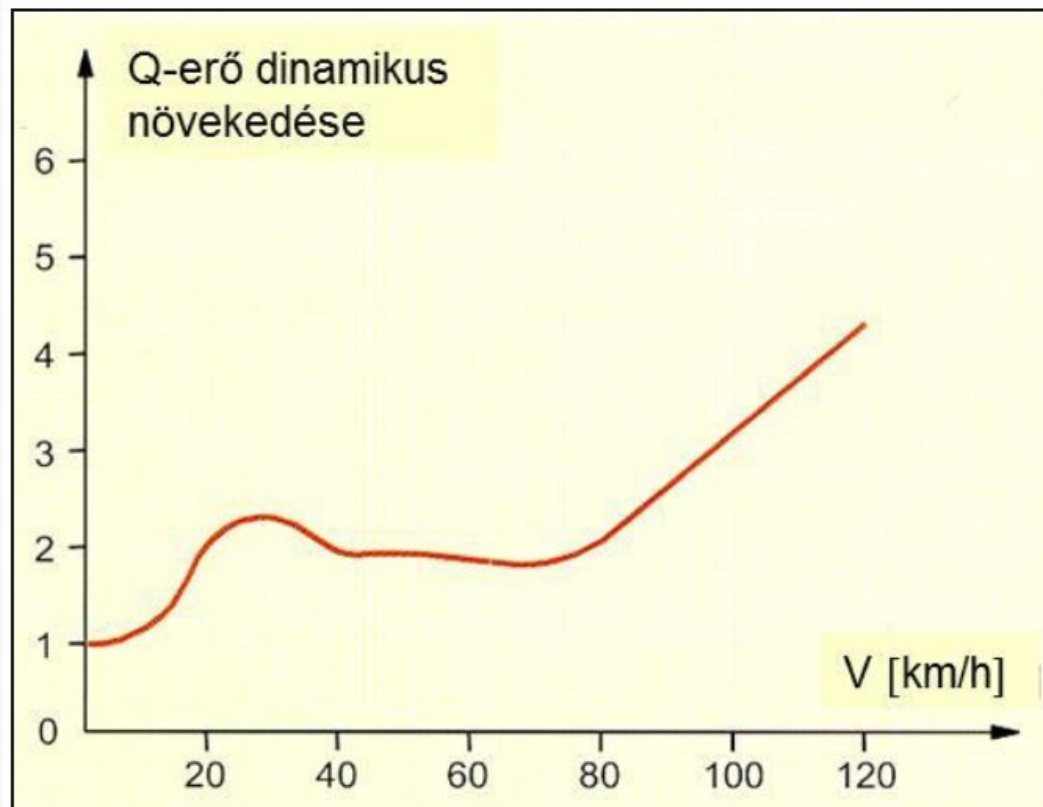
Útvonal

Az útvonal hossza 36,000 m

OK Mégsem

- Kerékteher: 304,29 kN
- Ívbehajlítási erő: 15 kN
- Centrifug. erő: 30,24 kN

Dinamikus többletterhelés növekedése kivölgyelődött hegesztésen történő áthaladáskor



Forrás: Coenraad Esveld: Modern Railway Track 4.16. ábra

100 km/h pályasebesség esetén:

egyenesben: $F_y = 125 \cdot 3,18 = 397,5 \text{ kN}$

Ívben: $F_y = 125 \cdot 3,18 \cdot 1,2 = 477 \text{ kN}$

120 km/h pályasebesség esetén:

○ egyenesben: $F_y = 125 \cdot 4,29 = 536,25 \text{ kN}$

○ ívben: $F_y = 125 \cdot 4,29 \cdot 1,2 = 643,5 \text{ kN}$


A fenti dinamikus tényezők szakirodalom szerint néhány tized mm kivölgyelődéshez tartoznak.

V=120 km/ pályasebességű, R=2000 m ívsugarú modell teherfelvétele

- Kerékteher: 643,50 kN
- Kerékteher: 278,57 kN
- Ívbehajlítási erő: 15 kN
- Centrifug. Erő: 27,69 kN

Mozgó vonalmenti teher megadása

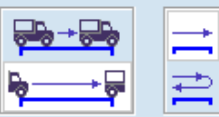
Teherséma: Egyedi



Koncentrált terhek | Megoszló terhek

	Típus	Exc. [m]	Poz. [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]
+								
×	1 Globális	0	-4,800	0	-27,69	-278,57	0	0
	2 Globális	0	-3,200	0	-27,69	-278,57	0	0
	3 Globális	0	-1,600	0	-27,69	-278,57	0	0
	4 Globális	0	0	0	-42,69	-643,50	0	0

Útvonal



Útvonal

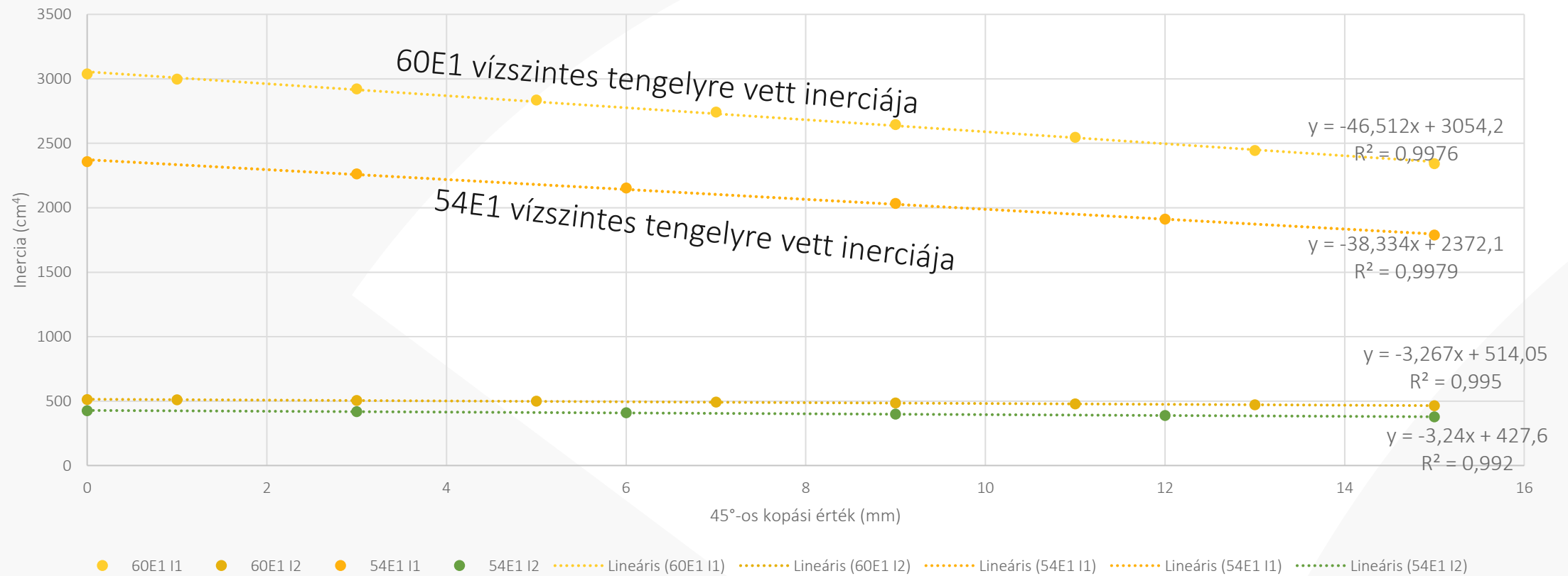
N = 600

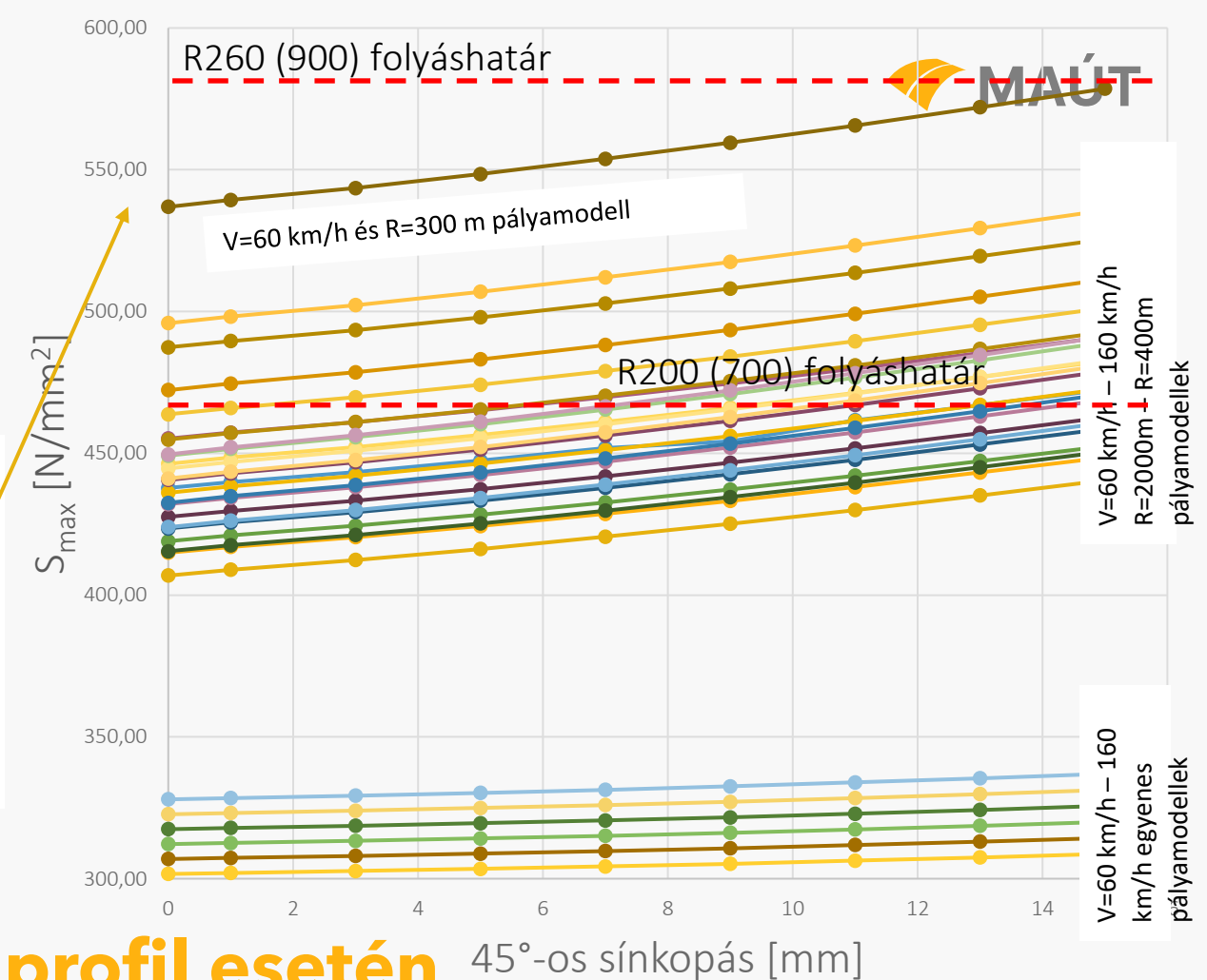
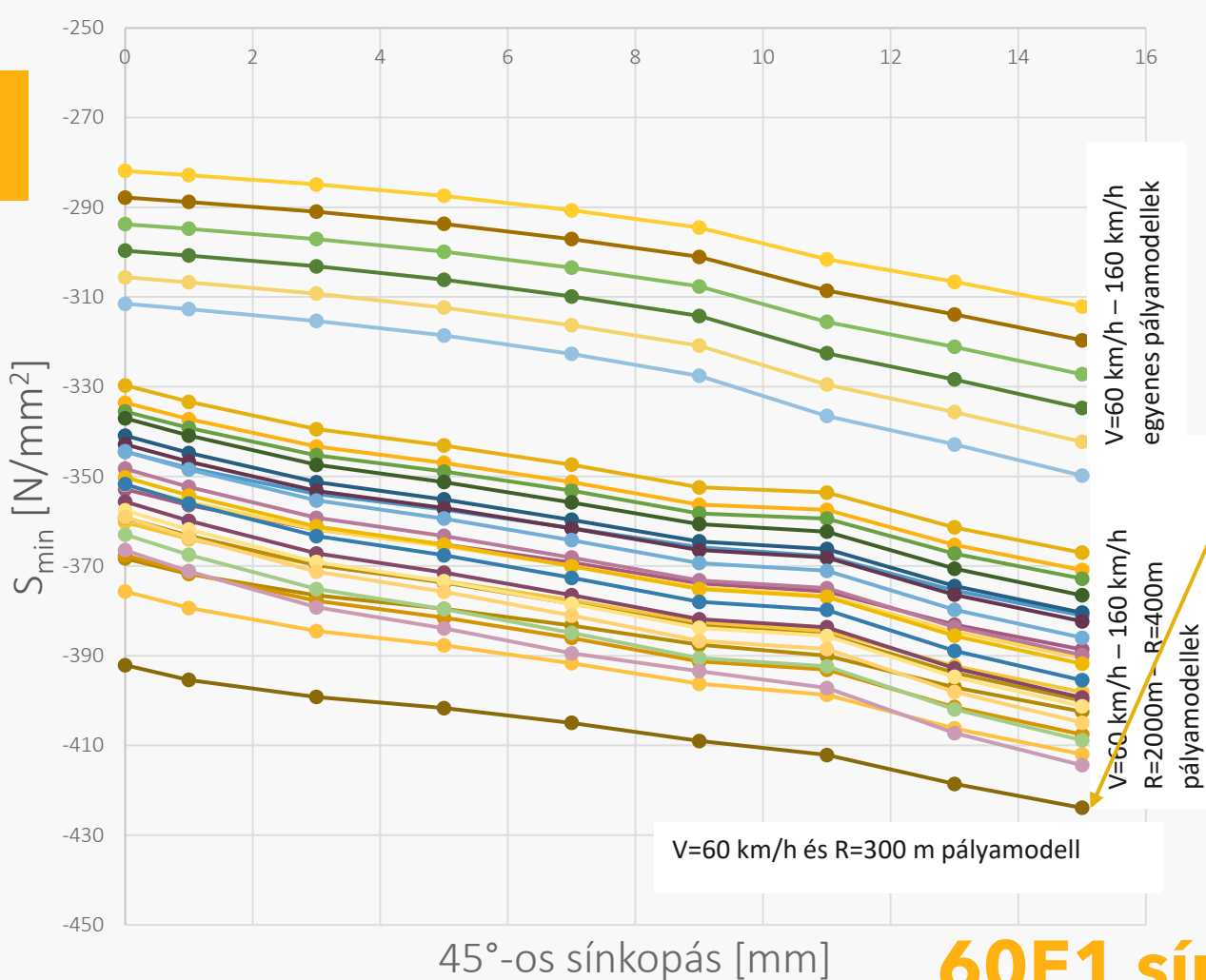
Az útvonal hossza 36,000 m

OK Mégsem

Keresztmetszeti inerciaváltozás 45°-os sínkopás és sínrendszer függvényében

Keresztmetszeti inerciaváltozás 45°-os sínkopás és sínrendszer függvényében

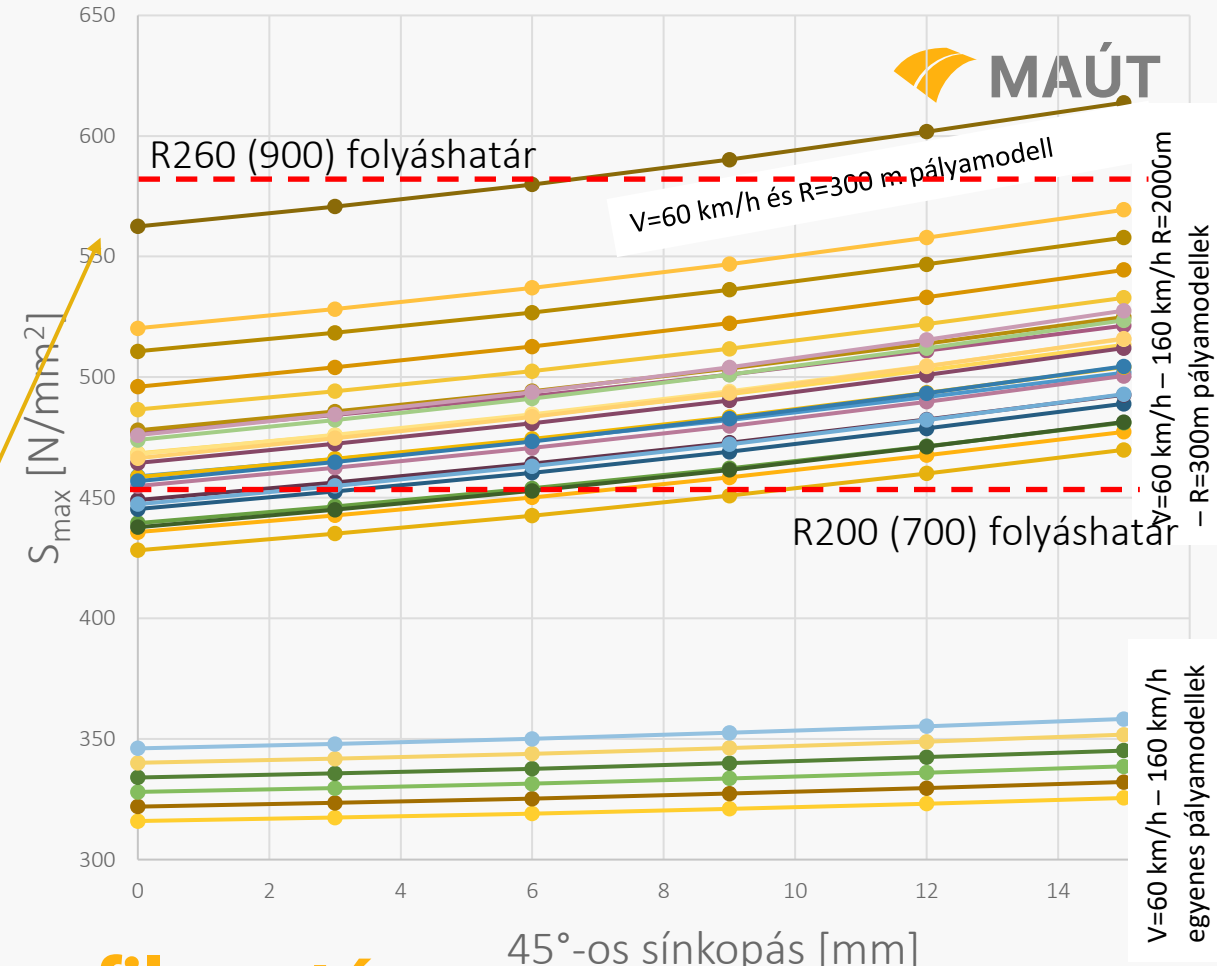
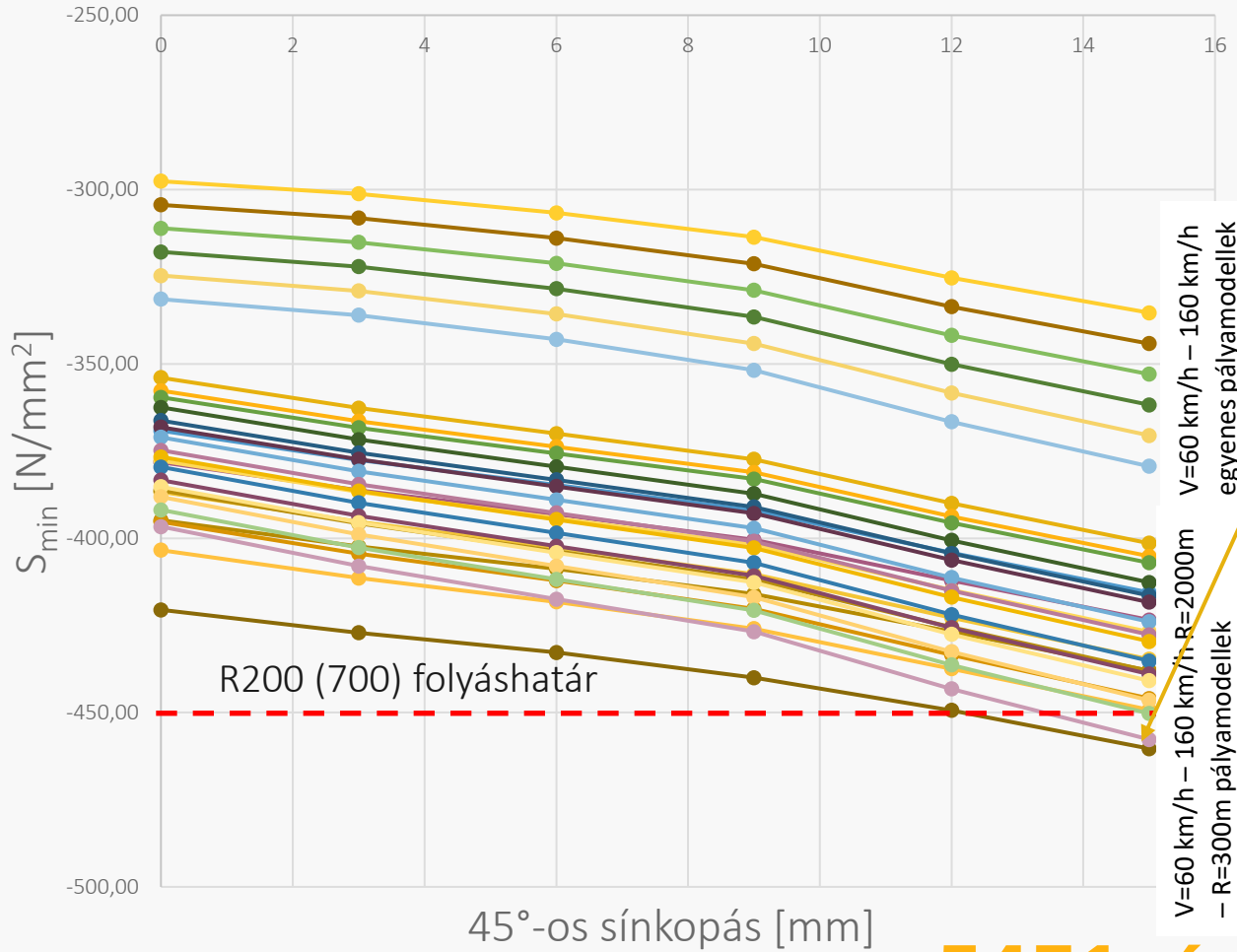




60E1 sínprofil esetén

- Egyenes V=60 km/h
- R=2000m V=60 km/h
- R=1000m V=60 km/h
- R=800 m V=60 km/h
- R=600 m V=60 km/h
- Egyenes V=80 km/h
- R=2000m V=80 km/h
- R=1000 m V=80 km/h
- R=800 m V=80 km/h
- R=600 m V=80 km/h
- R=500 m V=80 km/h
- R=400 m V=80 km/h
- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- R=400 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h
- R=600 m V=120 km/h
- R=500 m V=120 km/h
- R=400 m V=120 km/h
- Egyenes V=140 km/h
- R=2000m V=140 km/h
- R=1000 m V=140 km/h
- Egyenes V=160 km/h
- R=2000m V=160 km/h

- Egyenes V=60 km/h
- R=2000m V=60 km/h
- R=1000m V=60 km/h
- R=800 m V=60 km/h
- R=600 m V=60 km/h
- Egyenes V=80 km/h
- R=2000m V=80 km/h
- R=1000 m V=80 km/h
- R=800 m V=80 km/h
- R=600 m V=80 km/h
- R=500 m V=80 km/h
- R=400 m V=80 km/h
- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- R=400 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h
- R=600 m V=120 km/h
- R=500 m V=120 km/h
- R=400 m V=120 km/h
- Egyenes V=140 km/h
- R=2000m V=140 km/h
- R=1000 m V=140 km/h
- Egyenes V=160 km/h
- R=2000m V=160 km/h



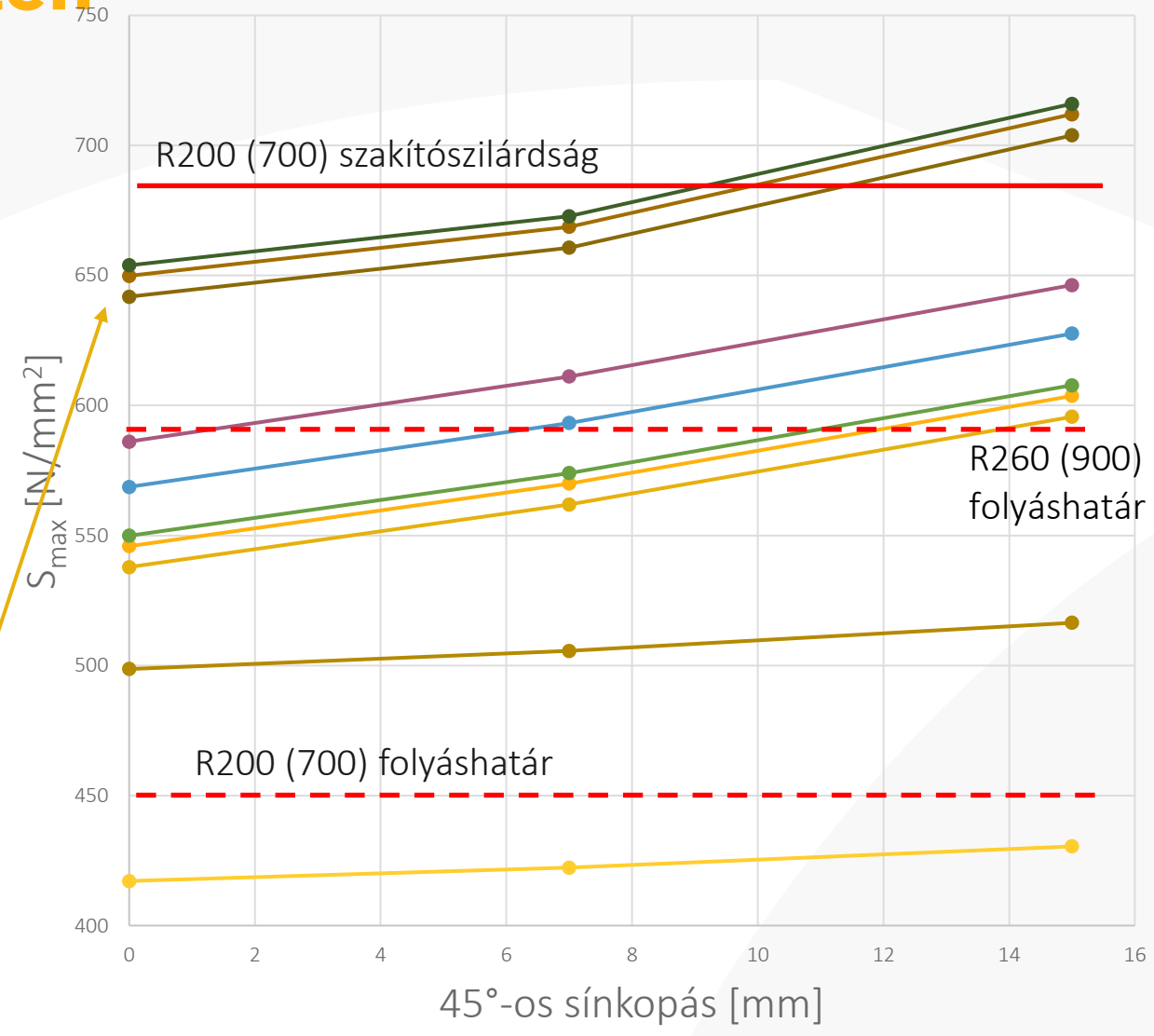
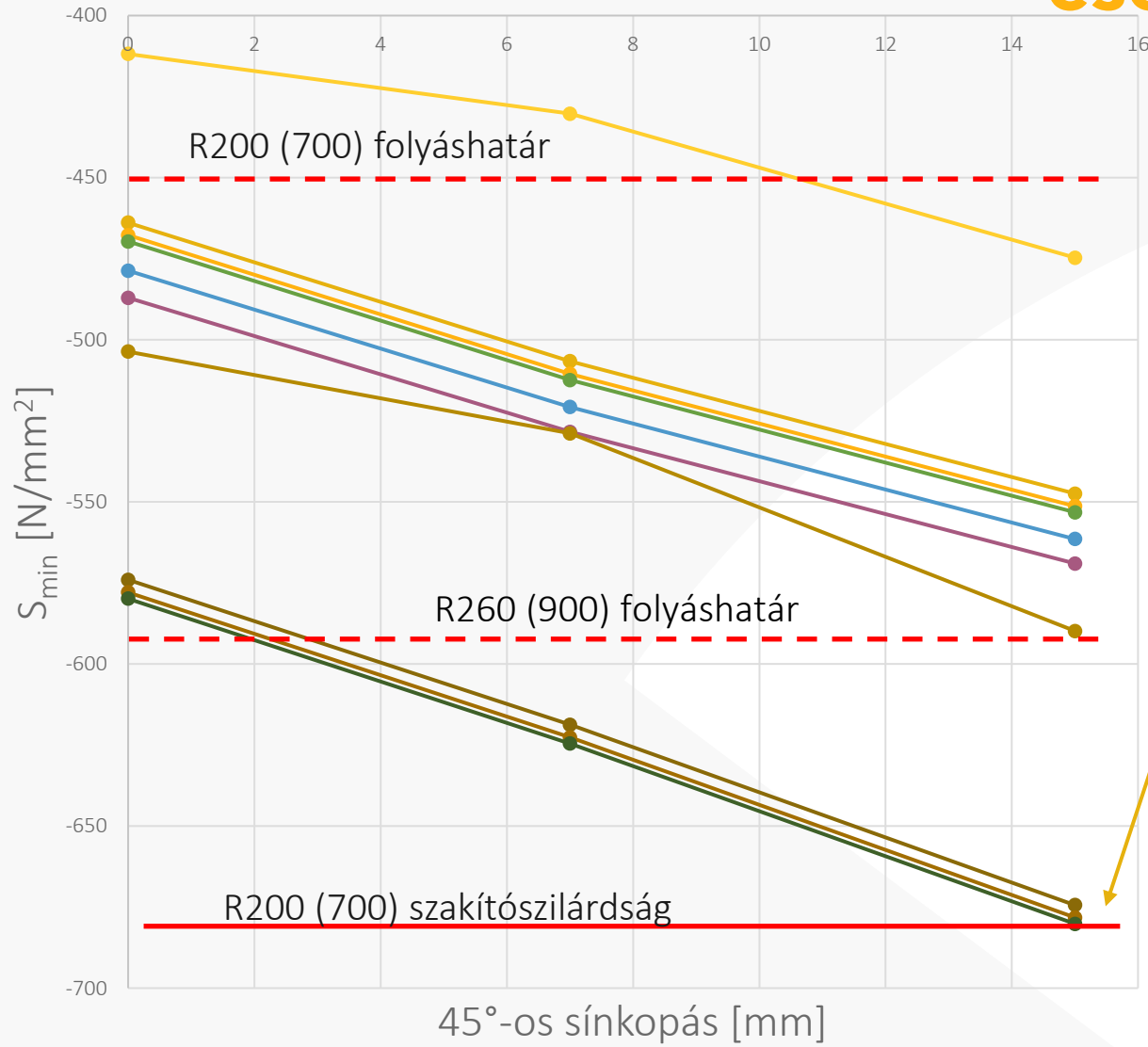
54E1 sínprofil esetén

- | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| ● Egyenes V=60 km/h | ● R=2000m V=60 km/h | ● R=1000m V=60 km/h | ● R=800 m V=60 km/h | ● Egyenes V=60 km/h | ● R=2000m V=60 km/h | ● R=1000m V=60 km/h | ● R=800 m V=60 km/h |
| ● R=600 m V=60 km/h | ● R=500 m V=60 km/h | ● R=400 m V=60 km/h | ● R=300 m V=60 km/h | ● R=600 m V=60 km/h | ● R=500 m V=60 km/h | ● R=400 m V=60 km/h | ● R=300 m V=60 km/h |
| ● Egyenes V=80 km/h | ● R=2000m V=80 km/h | ● R=1000 m V=80 km/h | ● R=800 m V=80 km/h | ● Egyenes V=80 km/h | ● R=2000m V=80 km/h | ● R=1000 m V=80 km/h | ● R=800 m V=80 km/h |
| ● R=600 m V=80 km/h | ● R=500 m V=80 km/h | ● R=400 m V=80 km/h | ● Egyenes V=100 km/h | ● R=600 m V=80 km/h | ● R=500 m V=80 km/h | ● R=400 m V=80 km/h | ● Egyenes V=100 km/h |
| ● R=2000m V=100 km/h | ● R=1000m V=100 km/h | ● R=800 m V=100 km/h | ● R=600 m V=100 km/h | ● R=2000m V=100 km/h | ● R=1000m V=100 km/h | ● R=800 m V=100 km/h | ● R=600 m V=100 km/h |
| ● R=500 m V=100 km/h | ● Egyenes V=120 km/h | ● R=2000m V=120 km/h | ● R=1000m V=120 km/h | ● R=500 m V=100 km/h | ● Egyenes V=120 km/h | ● R=2000m V=120 km/h | ● R=1000m V=120 km/h |
| ● R=800 m V=120 km/h | ● Egyenes V=140 km/h | ● R=2000m V=140 km/h | ● R=1000 m V=140 km/h | ● R=800 m V=120 km/h | ● Egyenes V=140 km/h | ● R=2000m V=140 km/h | ● R=1000 m V=140 km/h |
| ● Egyenes V=160 km/h | ● R=2000m V=160 km/h | | | ● Egyenes V=160 km/h | ● R=2000m V=160 km/h | | |

Megállapításaim

- a sítalpban fellépő húzófeszültség értéke minden esetben nagyobb, mint a sínfejen fellépő nyomófeszültség;
- az 54E1 sínprofil feszültségértékei magasabbak, mint a 60E1 sínprofilé, mivel az 54 sínrendszer kisebb inerciával rendelkezik;
- az 54E1 sínprofil nyomó – és húzófeszültség értékeinek növekedése meredekebb, mint a 60E1 sínprofilé;
- a sínfejen fellépő nyomófeszültség meredekebb görbe mentén növekszik az $R=2000$ m, 1000 m és 800 m ívsugar esetén, mint az egyenesben és az $800 \leq R \leq 300$ m közötti ívsugar tartományban;
- a sítalpban fellépő húzófeszültség az ívsugar csökkenésével meredekebben növekvő görbét eredményez;
- a sínprofilban fellépő húzó – és nyomófeszültség értékek minden esetben az adott sebességhez vizsgált legkisebb ívsugar esetén éri el a maximális értékeket;
- Normál pályaállapot esetén, ahol csak a sínkopást vettem figyelembe (a HC hibát sínkopásnak tekintettem), az R260 sínminőség esetén figyelembe vehető 580 N/mm^2 értékű folyáshatárt nem haladjuk meg $R=400$ m ívsugarig. 300 m ívsugárnál jelentősebb sínkopás esetén a folyáshatár kimerül.

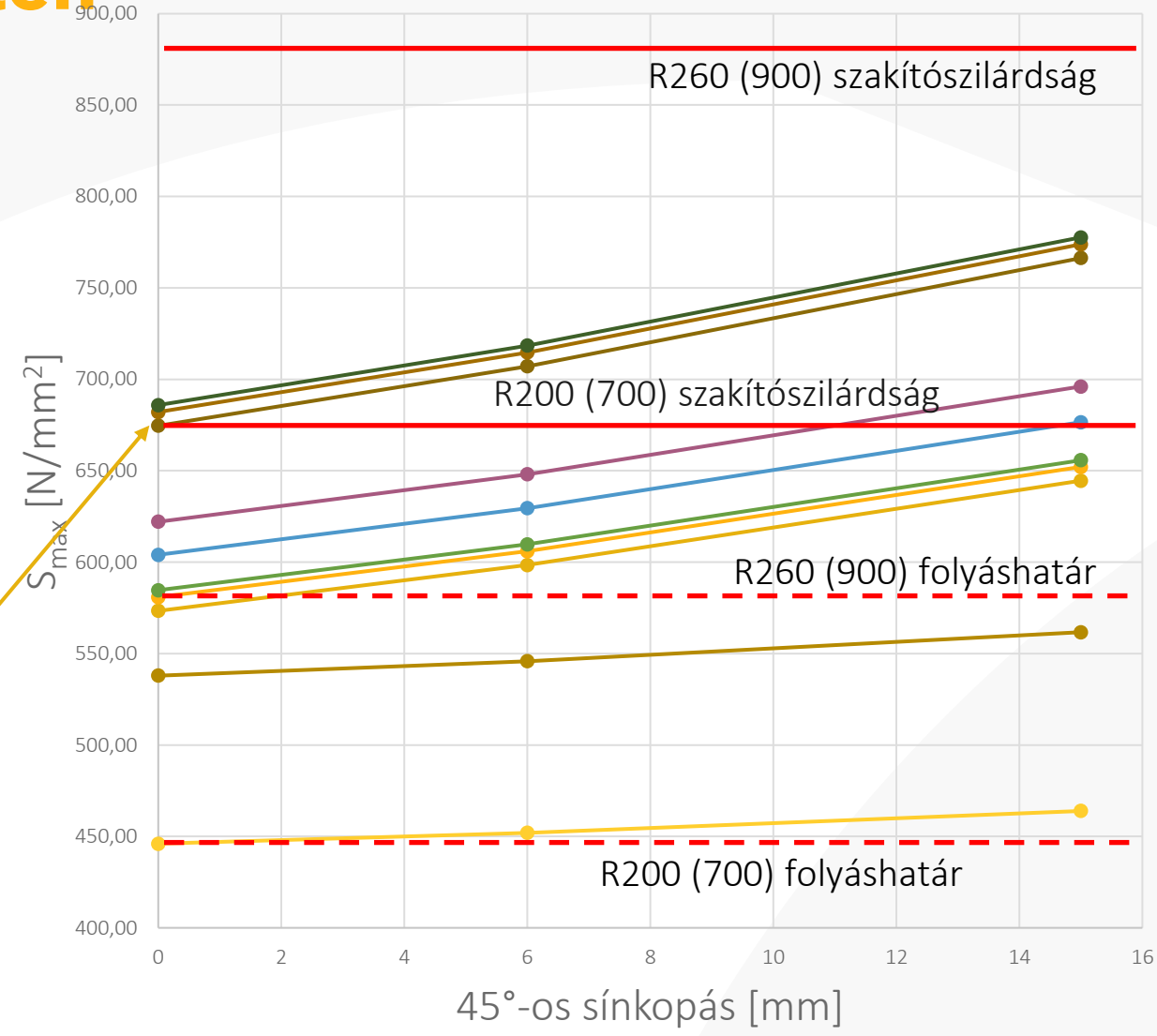
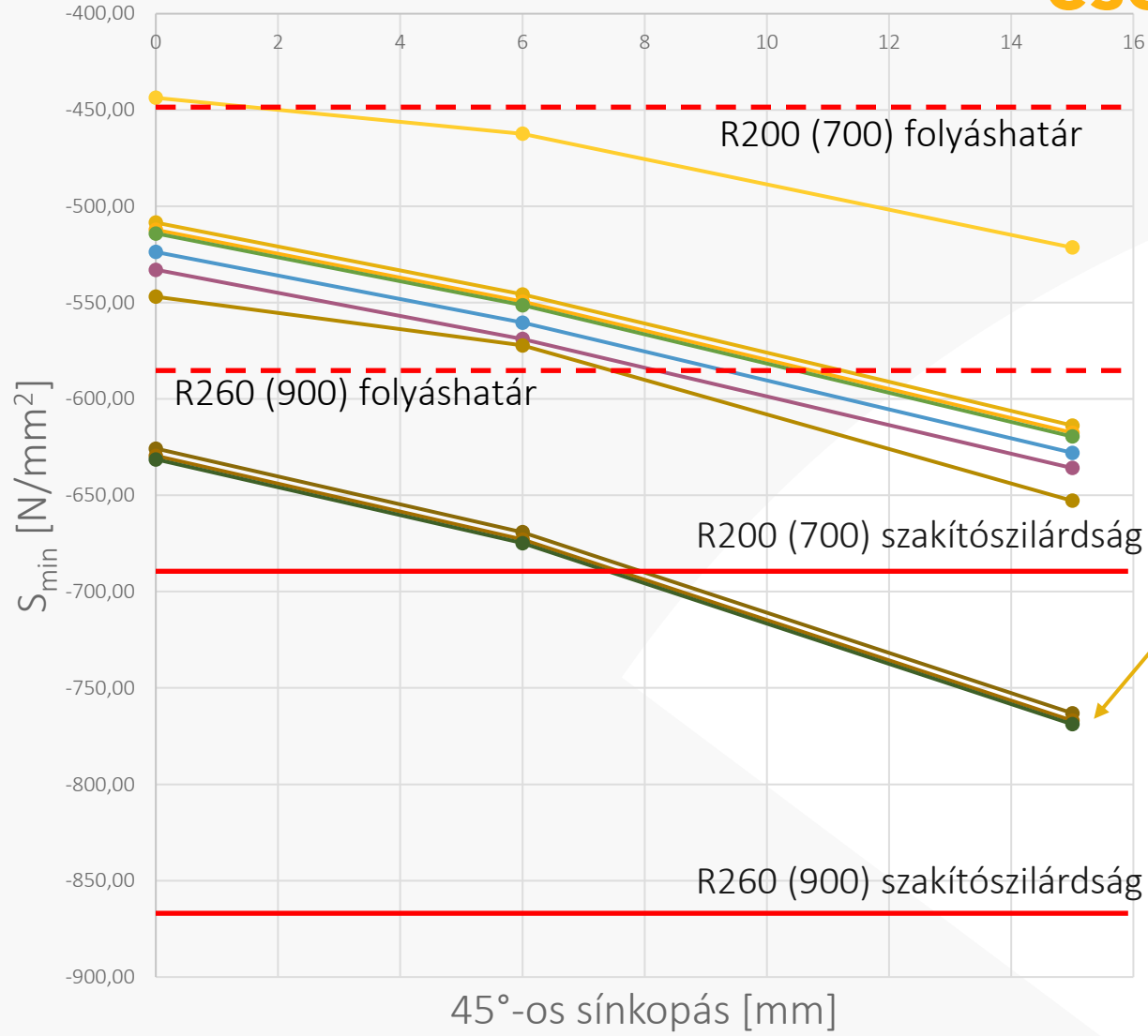
Kivölgyelődött hegesztés vizsgálata 60E1 sínprofil esetén



- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h

- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h

Kivölgyelődött hegesztés vizsgálata 54E1 sínprofil esetén



- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h

- Egyenes V=100 km/h
- R=2000m V=100 km/h
- R=1000m V=100 km/h
- R=800 m V=100 km/h
- R=600 m V=100 km/h
- R=500 m V=100 km/h
- Egyenes V=120 km/h
- R=2000m V=120 km/h
- R=1000m V=120 km/h
- R=800 m V=120 km/h

Megállapításaim a dinamikus többletterhelés hatását vizsgálva

- a síntalpban fellépő húzófeszültség értéke minden esetben nagyobb, mint a sínfejen fellépő nyomófeszültség;
- az 54E1 sínprofil feszültségértékei magasabbak, mint a 60E1 sínprofilé, mivel az 54 sínrendszer kisebb inerciával rendelkezik;
- az 54E1 sínprofil nyomó – és húzófeszültség értékeinek növekedése meredekebb, mint a 60E1 sínprofilé;
- a sín anyaga (R260) a folyáshatárát 60E1 sínprofil esetén 0 mm sínkopás figyelembevételével is eléri a 100 km/h R=500 m ívsugár és a 120 km/h pályasebesség esetén R=2000 m, 1000 m és 800 m ívsugár mellett a sínfejen ébredő nyomófeszültség és a síntalpban ébredő húzófeszültség egyaránt túllépi azt;
- a sín (R260) folyáshatárát 54E1 sínprofil esetén 0 mm sínkopás mellett 100 km/h és 120 km/h pályasebesség esetén egyedül az egyenesekben nem haladjuk meg;
- a vizsgált pályamodellek több esetben 15 mm 45°-os sínkopás mellett a szakítószilárdságot meghaladó feszültségértékek tapasztalhatóak.

A téma gyakorlati hasznosíthatósága, további kutatási irányok

- Munkálatás során a hibamegszüntető eljárások előnyben részesítése a hibacsökkentő beavatkozások helyett;
- Átépítés során helyes technológia sorrend fontossága (hegesztések finomköszörülése, majd ezt követően a sínköszörülés);
- Megfelelő pályafenntartás fontossága, hogy a pályahibákra visszavezethető dinamikus többletterhelés minél alacsonyabb legyen;
- Edzettfejű sínek (R350HT, R400HT) esetén a talp szakítószilárdsága megegyezik az R260 sínminőséggel, így a sínfej (kb. $\sim 1400 \text{ N/mm}^2$) szakítószilárdságát elérve a sántalpban már bekövetkezett a tönkremenetel;
- A fentiekben bemutatott megállapításaim és kérdések alapján a téma további kutatását fontosnak tartom.

Köszönöm a megtisztelő
figyelmüket