

**SÍNFEJ HAJSZÁLREPEDÉSEK KIALAKULÁSA,
A HIBÁK MÉRÉSE ÉS MINŐSÍTÉSE**



MÁV KfV Kft.

BÉLI János



**SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM**

Dr. HORVÁT Ferenc

1. TARTALOM

1. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

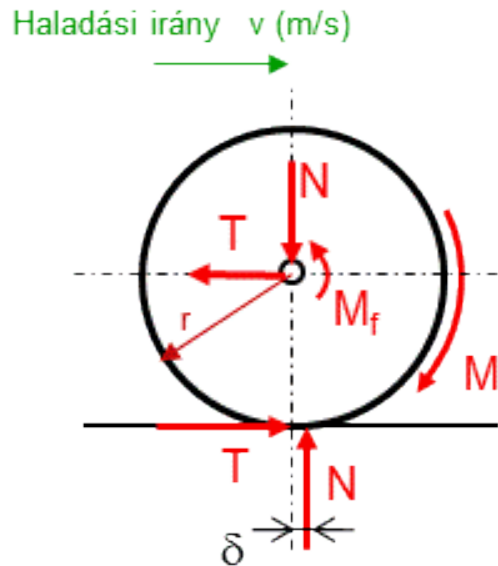
2. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

3. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

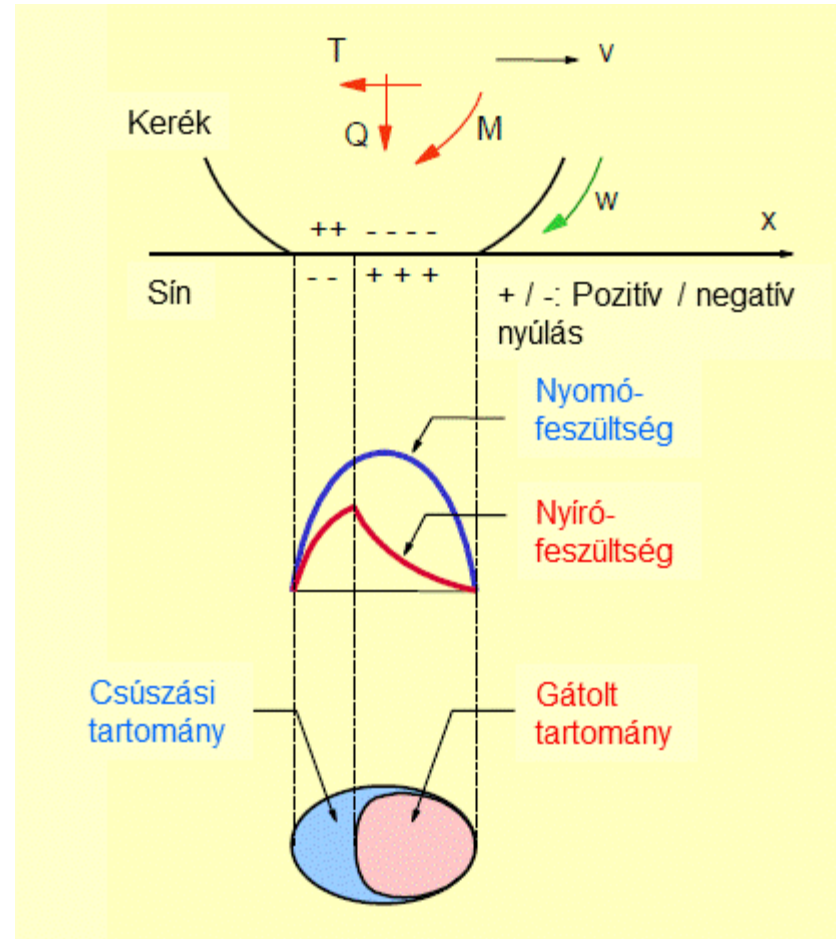
4. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

2. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

Hajtott kerékpár erőtani viszonyai



A kúszás jelensége

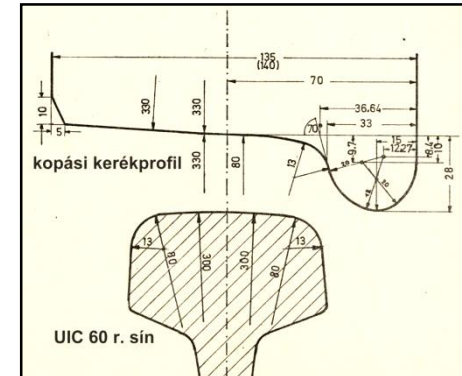


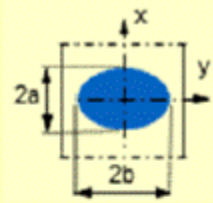




Forrás: C. Esvelde: Modern Railway Track

2. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

A feszültség nagysága és az érintkezési ellipszis különböző kerék és sín geometriai kialakításoknál

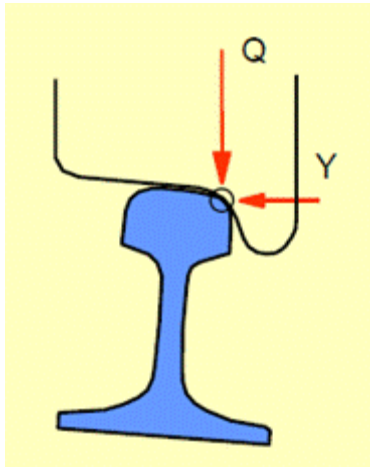
$$\sigma_{max} = \frac{3}{2} \frac{Q}{2\pi ab}$$



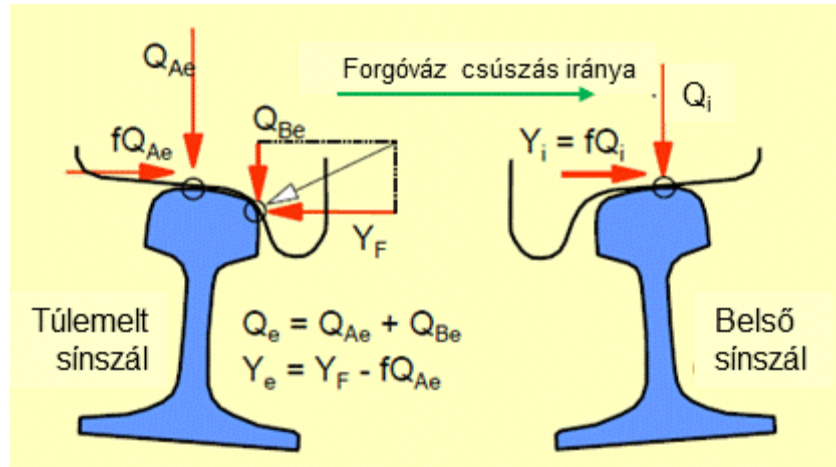
Kerék sugara [mm]	Sínfej kialakítási sugara [mm] ⁰	Nyomkarima átmenet sugara [mm]	a [mm]	b [mm]	σ_N [N/mm ²]	
460	∞	300	6.1	4.7	1012	
460	-330	300	3.9	14.6	502	
460	-330	80	7.1	2.7	1520	
150	-330	80	4.2	3.3	2103	

2. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

Egy pontos érintkezés



Kétpontos érintkezés. Ívben, oldalirányú csúszáskor ébredő erők

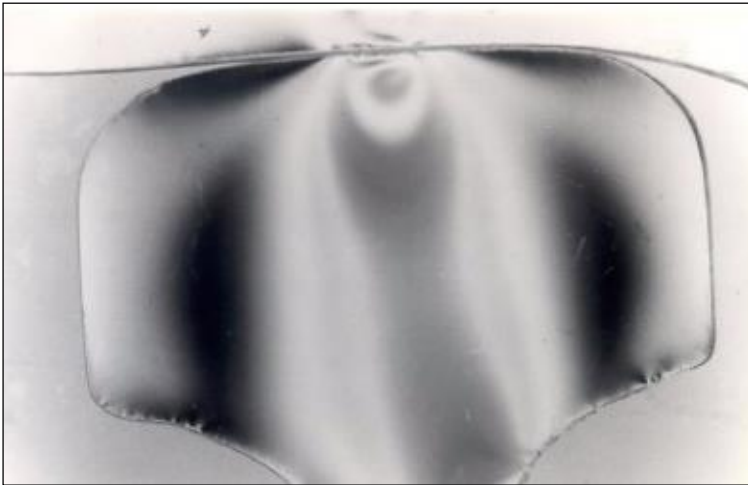


Forrás: C. Esvelde: Modern Railway Track

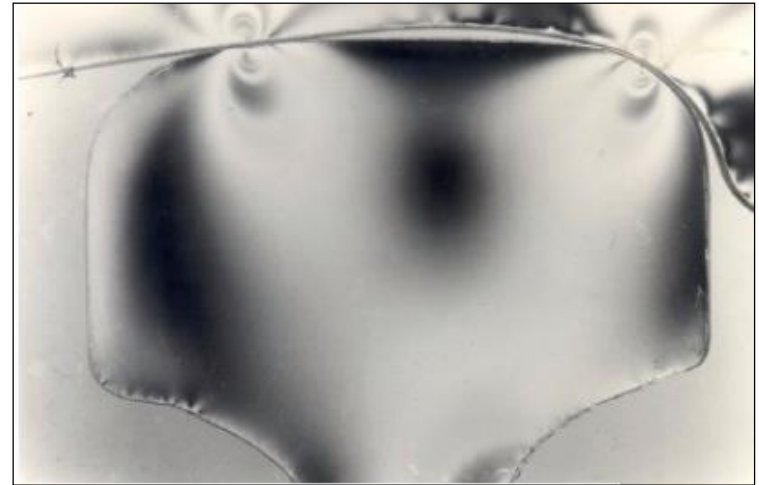
2. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

A feszültség eloszlása a sínfej keresztmetszetében

egy pontos érintkezés esetében



kétpontos érintkezés esetében



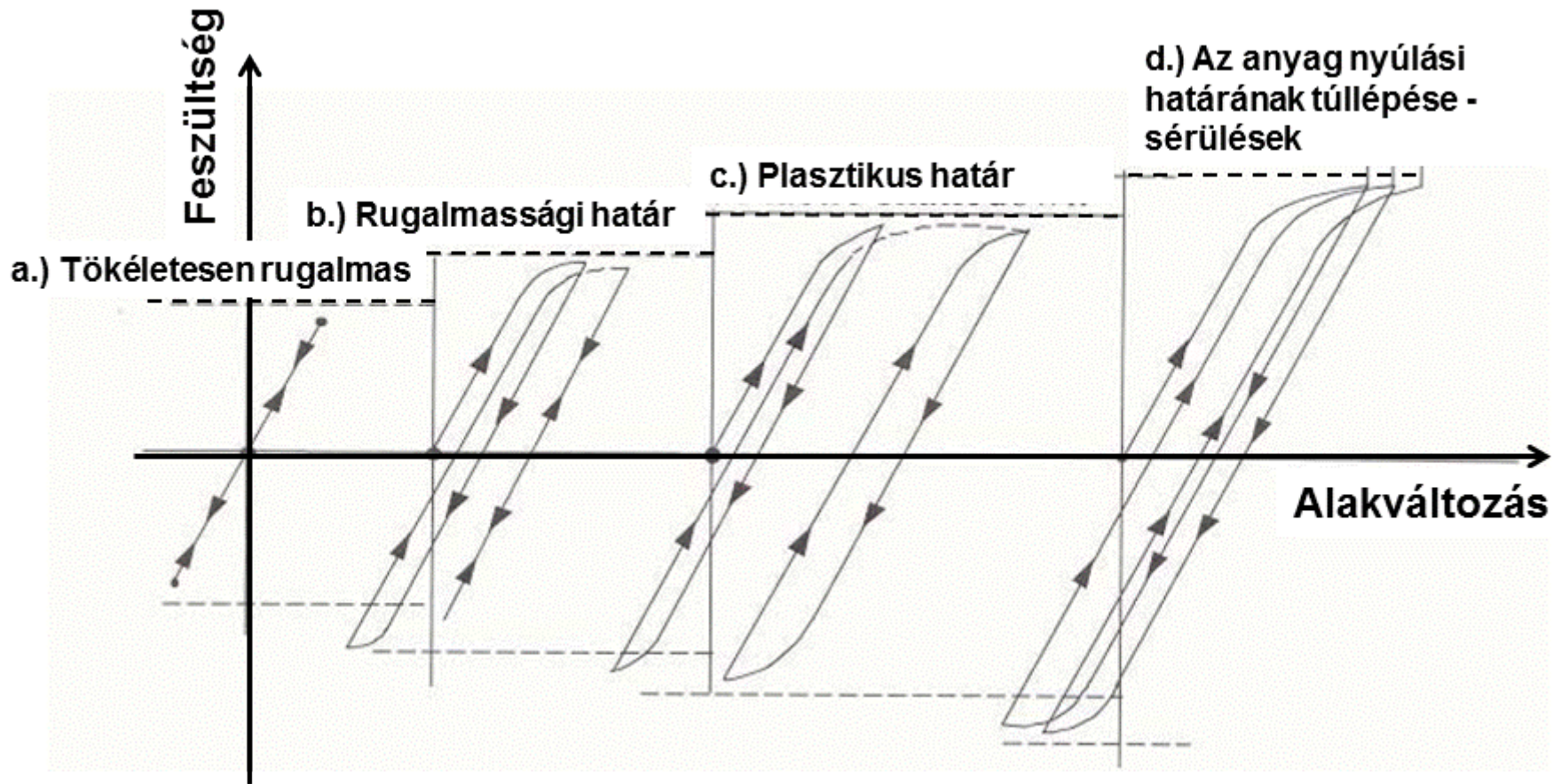
2. KERÉK – SÍN ÉRINTKEZÉS

Egészen durva állapot



3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

A ciklikus igénybevételek hatása

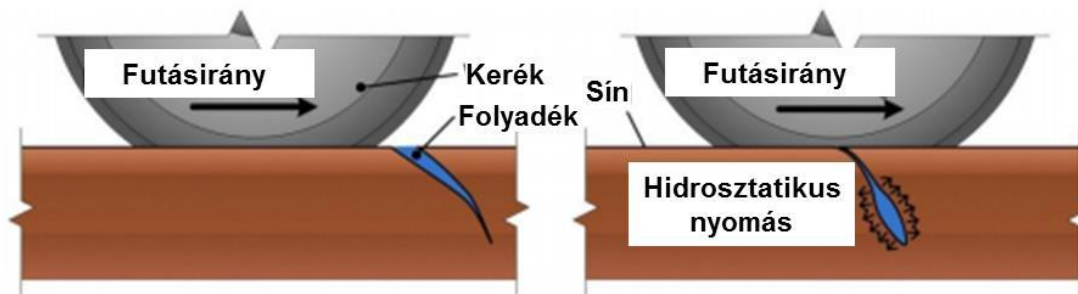


3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

Könnyebben megkezdődik a gördülési érintkezési fáradási hibák kialakulása száraz, nagy súrlódású felületek között. Azonban, hogy a hibák növekedjenek, az folyadék jelenlétét igényli a repedésekben, például vizét (csapadék) vagy olajét sínkenés).

Az után, hogy a repedések kialakulása megkezdődött a magas érintkezési és csúsztató feszültségek miatt, a folyadék jelenléte a vonatok áthaladása során a repedések növekedését okozza. Ez a bezárt folyadék miatt van, amely nem összenyomható, benne nagyon magas helyi nyomás alakul ki, amely meghaladja a normál nyomófeszültség értékét .

A sínfej-hajszálrepedések kialakulásának mechanizmusa

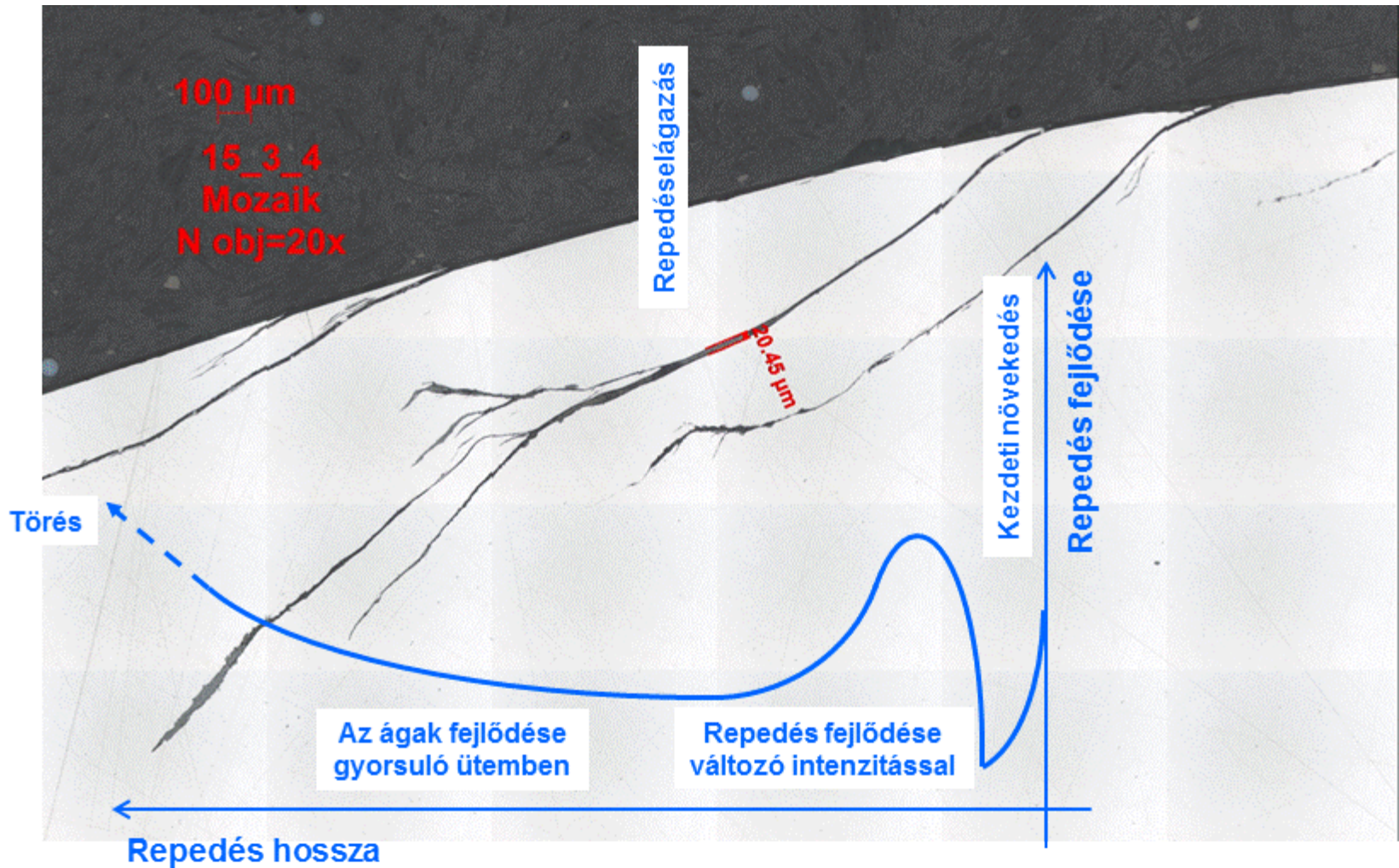


Kerék közeledése: a repedés szája felnyílik és bevezeti a vizet.

A kerék bezárja a repedést, nagy nyomás alakul ki a folyadékban, a repedés csúcsánál, s tovább hasad.

3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

A HC repedések fejlődése



3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

A nagyon magas érintkezési feszültségek hatására képlékeny alakváltozás jön létre, s az eredetileg hálós alapszövet deformálódik, a szövetszerkezet részecskéi hosszirányban megnyúlnak.

A C tartalomnak (0,573%) megfelelő szövetszerkezet (perlit és hálós ferrit)



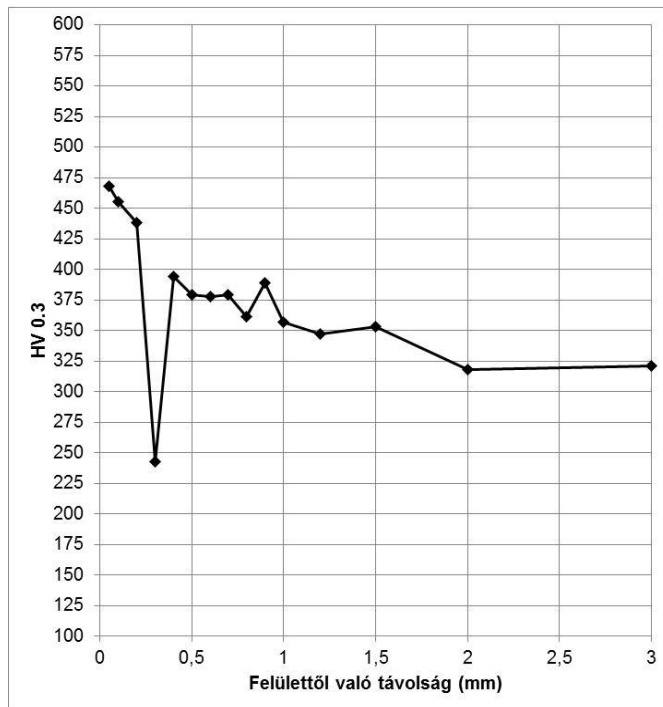
A deformálódott szövetszerkezet és a repedés



3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

Kialakul a sínacél osztályától függően egy kb. 0,4 – 1,2 mm vastag, a járműkerekek által hidegen alakított réteg, amelyben a sín anyagának keménysége nagyon jelentősen, az alapszövet keménységének akár másfélszeresére megnövekszik. (Az ábrán: a 325 HV_{0,3} keménységű sín a külső kéregrészen 475 HV_{0,3} értékűre keményedett fel. A felülettől 0,3 mm mélyen húzódó repedés szélén felvett érték pedig a legalacsonyabb.)

Keménységváltozás a sínfej külső szélétől befelé haladva

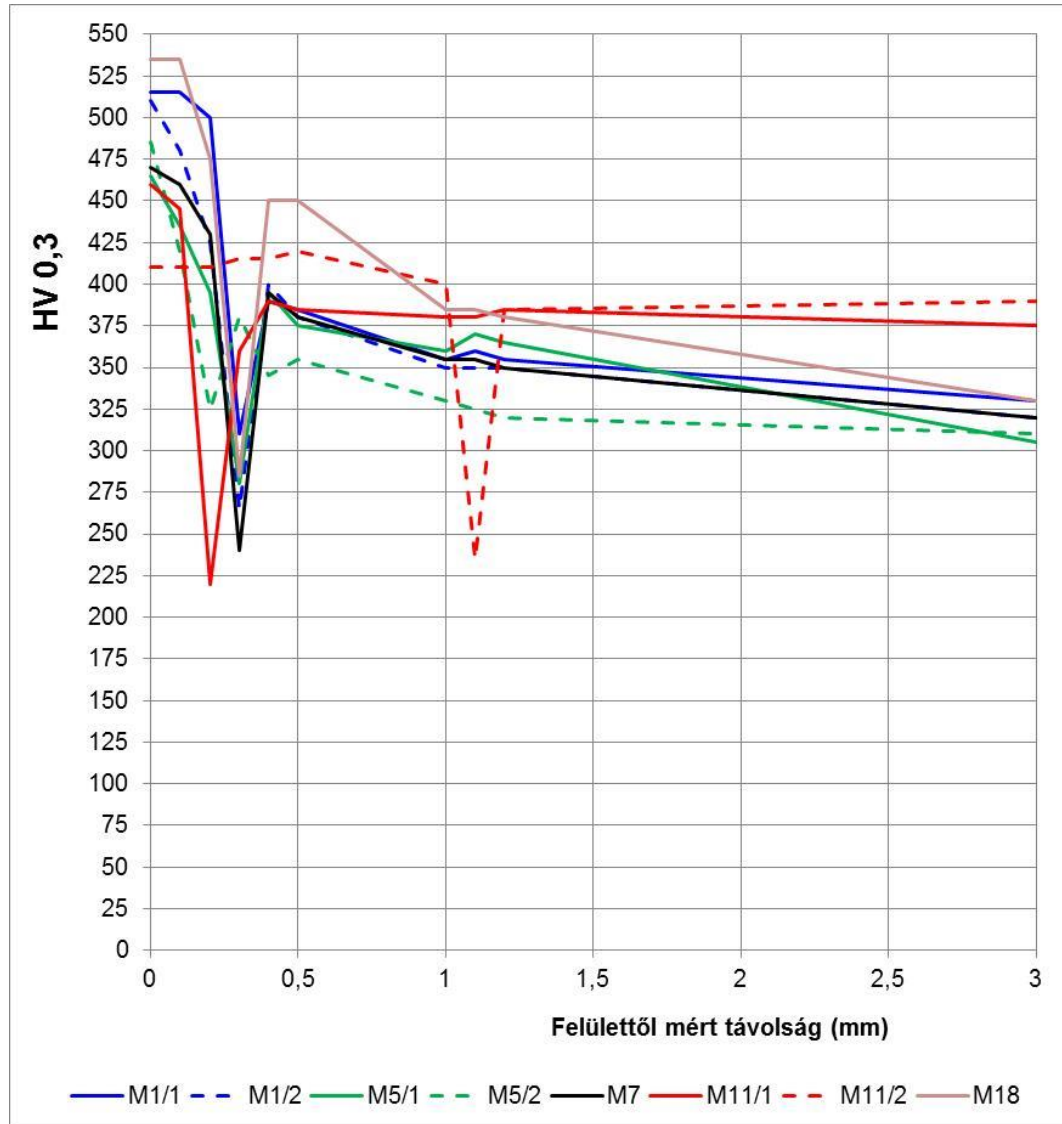


A felkeményedett kéregben bekövetkezik az anyag alakváltozó-képességének kimerülése, amely repedések megjelenéséhez vezet. A felkeményedett kérgen áthatolva a repedés a szemcsék nyúlási irányát követve halad egyre mélyebbre a sínfejbe



3. A HC REPEDÉSEK KIALAKULÁSA

Keménységváltozás a sínfej külső szélétől befelé haladva



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

Sínminták laboratóriumi vizsgálata

Tatabánya állomás átmenő fővágányából (703+90 – 704+54 szelvények között) 10 db minta

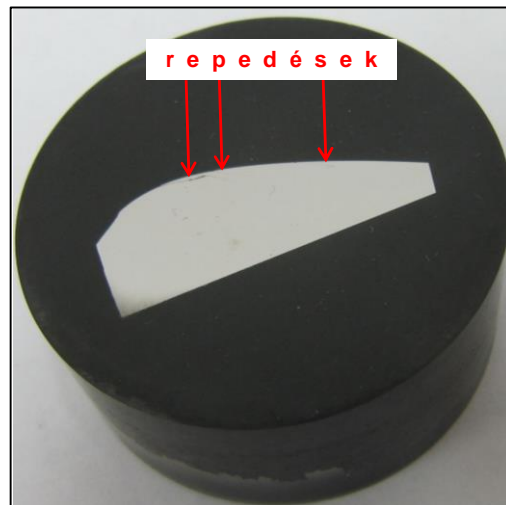
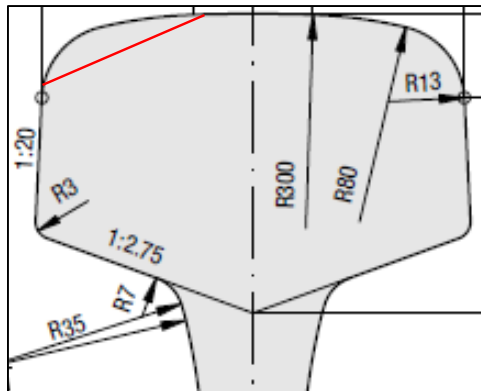
- 54 E1 sínrendszer, diósgyőri hengerlés (1988)
- sín magassági kopása 4,5 – 6,0 mm
- R = 1000 m sugarú ív, külső sínszál
- HC hiba felfedezése: 2010. október
- pályában fekvés ideje 25 év
- hibák alakja „S”, felületi hosszuk 4 – 36 mm
- hibák minősítése örvényáramos mérés alapján: korábbi besorolás szerinti 1. osztály (>5 mm repedés mélység)



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

A repedések geometriájának vizsgálata mikroszkóppal a sínfej keresztmet-
szetében

A sínfej keresztirányú vizsgálati minta kialakítása - csiszolat



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

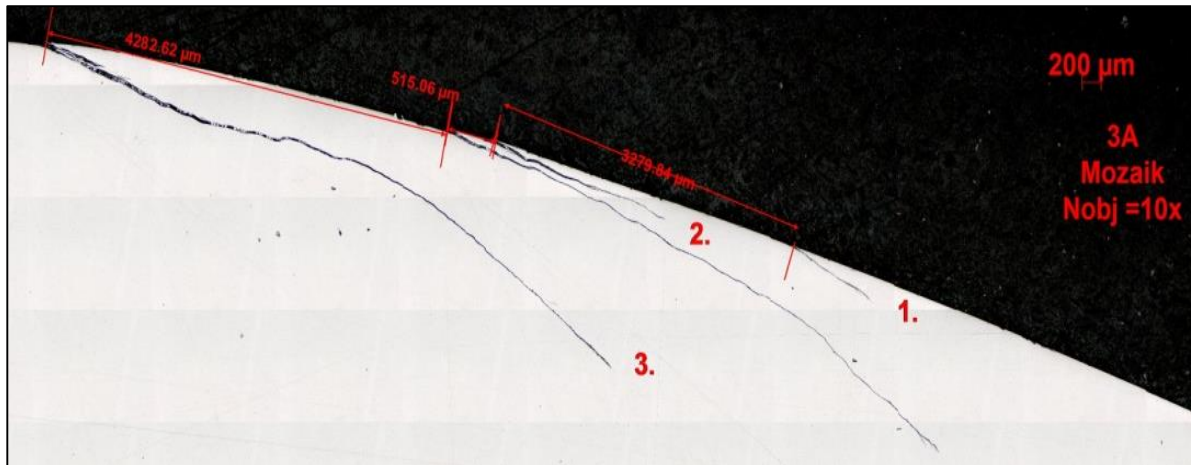
54 r. minták repedéseinek geometriai adatai

Minta jele	Repedések száma (db)	Repedések távolsága egymástól (mm)	Repedések hossza (mm)	Repedések legnagyobb mélysége (mm)	Sínfejbe hatolási szögek változása (deg)	Repedések max. tágassága (mm)
M1	3	2,0 és 3,1	1,6...2,6	0,4...0,9	7,5...24,0	0,01...0,02
M3	3	3,3 és 4,3	1,0...6,8	0,2...1,6	hullámos futás	0,03
M4	4	1,0...6,1	2,4...6,6	0,7...1,5	7,7...28,5	n.a.
M5	4	4,1...7,0	3,8...6,9	1,3...1,9	2 repedés törés nélkül, többi 5,6...23,3	0,02, de 0,09 legyűrődésnél
M6	4	1,4...4,6	2,2...6,5	1,8...3,2	18,8...21,4	0,06
M7	4	n.a.	<0,4 mm...5,9		12,7...23,2	0,02
M8	5	2,1...3,4	0,3...5,3	0,8...1,7	8,9...24,2	n.a.
M9	5	1,4...6,4	0,4...3,7	0,02...1,2	9,0...14,3	0,03

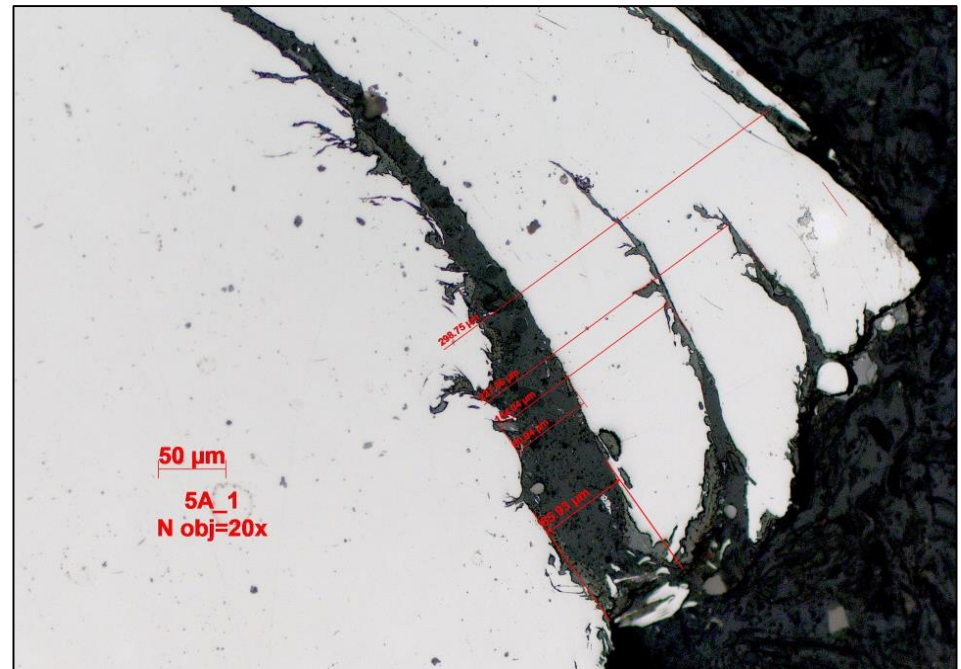
Az örvényáramos mérések eredményeként kapott károsodási mélység nem egyenlő a tényleges behatolási mélységgel.

4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

Egymás alá lapolódó repedések

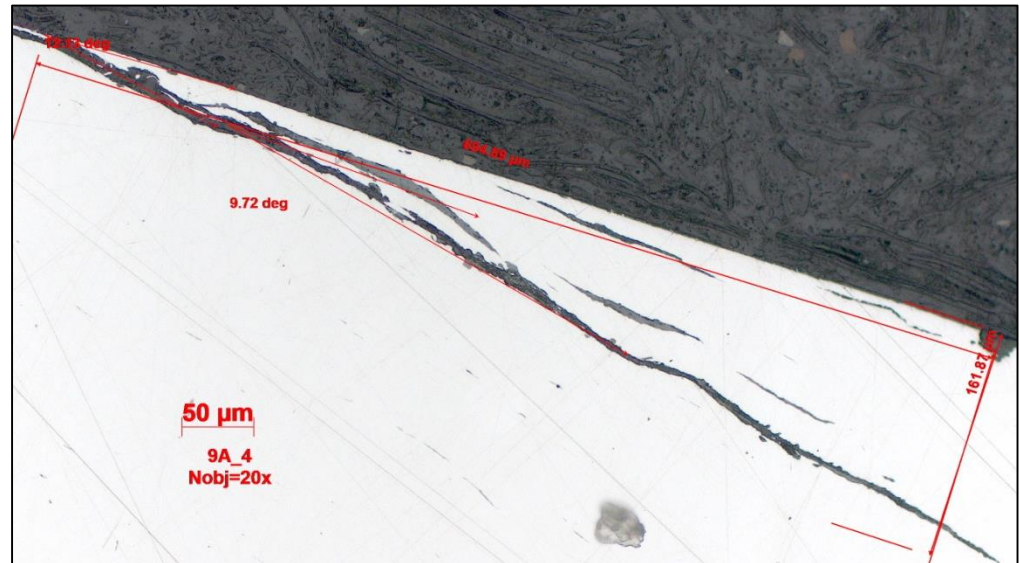
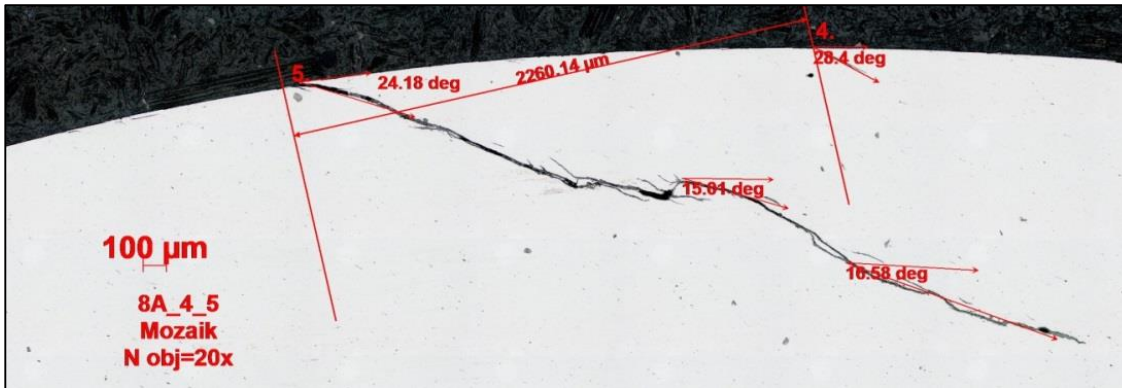


Legyűrődésben elindult több repedés



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

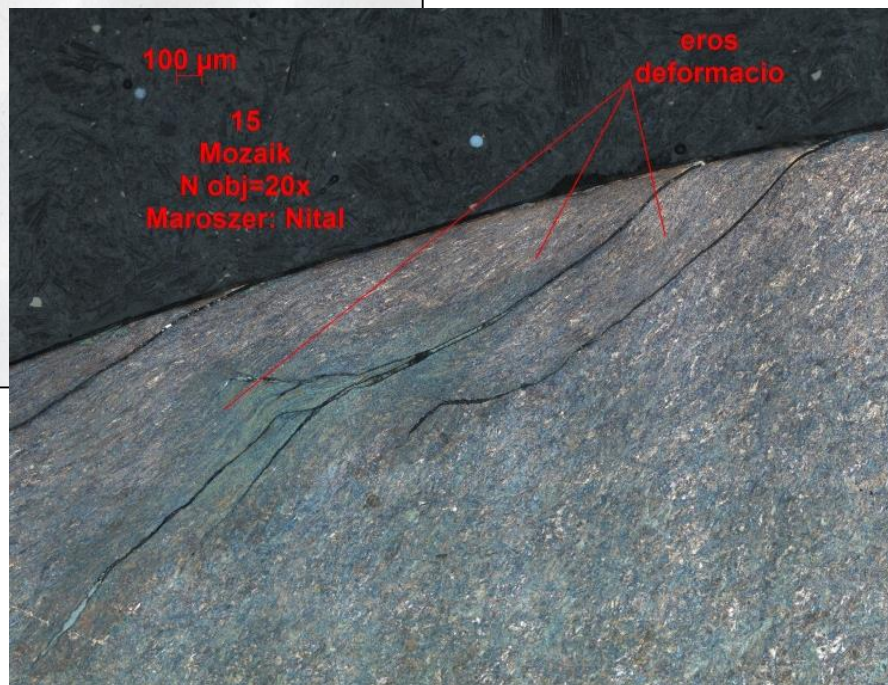
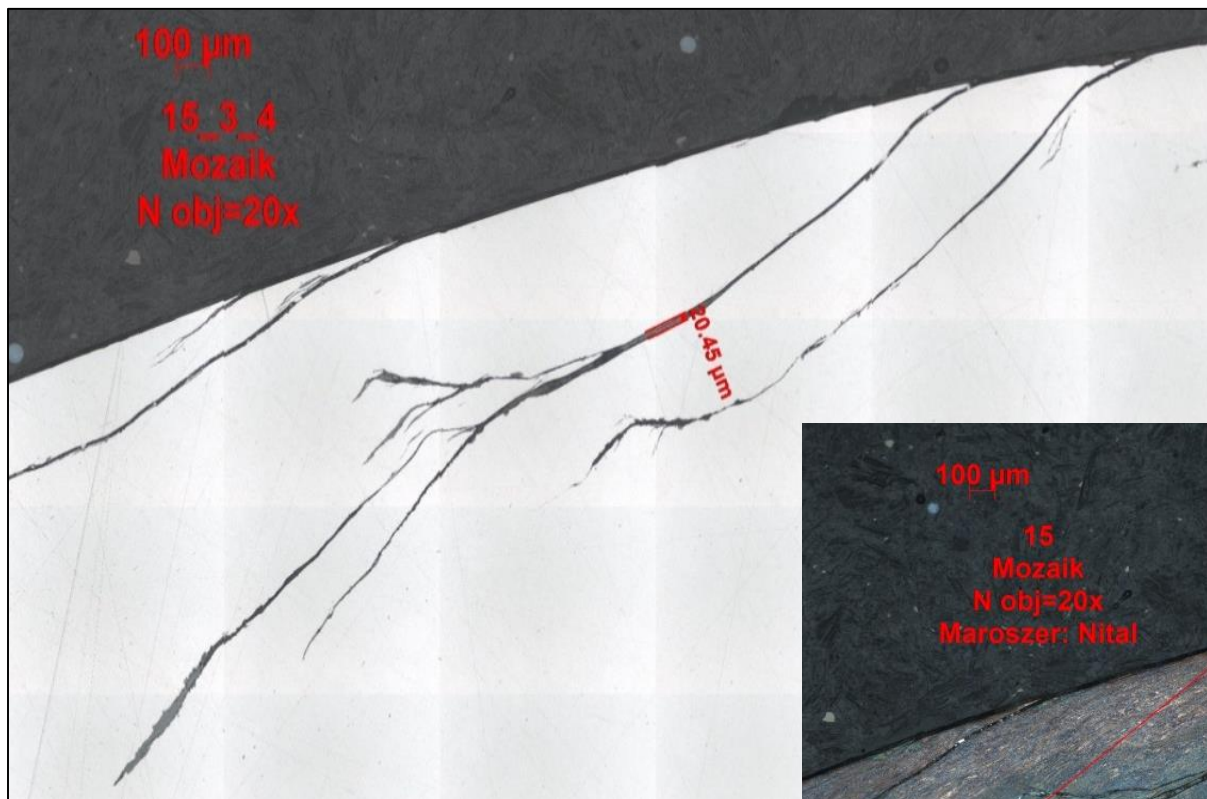
Többször változó irányú futás



*Előbb-utóbb felületi
kitöredezést okozó repedések*

4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

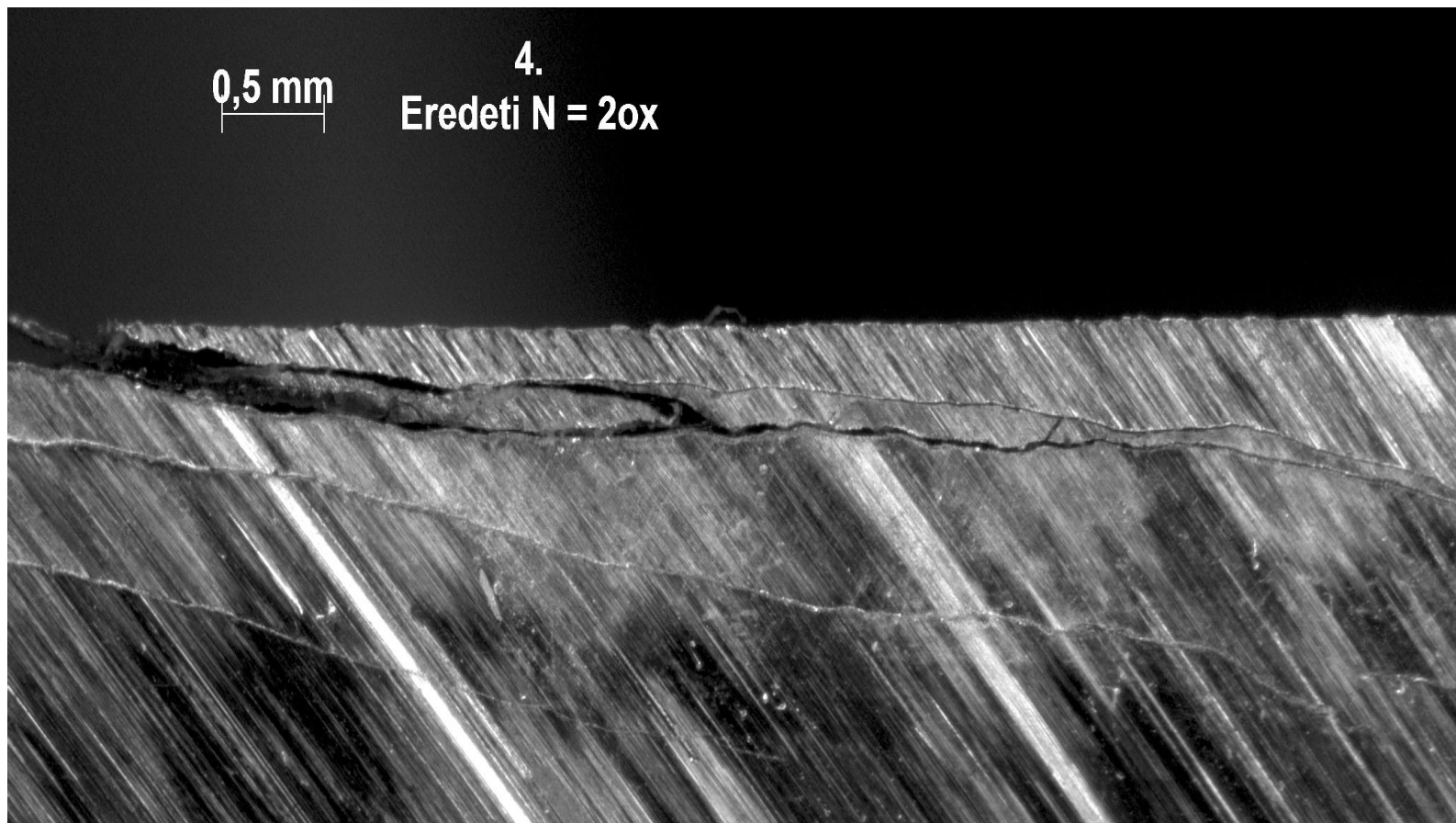
Elágazó repedés



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

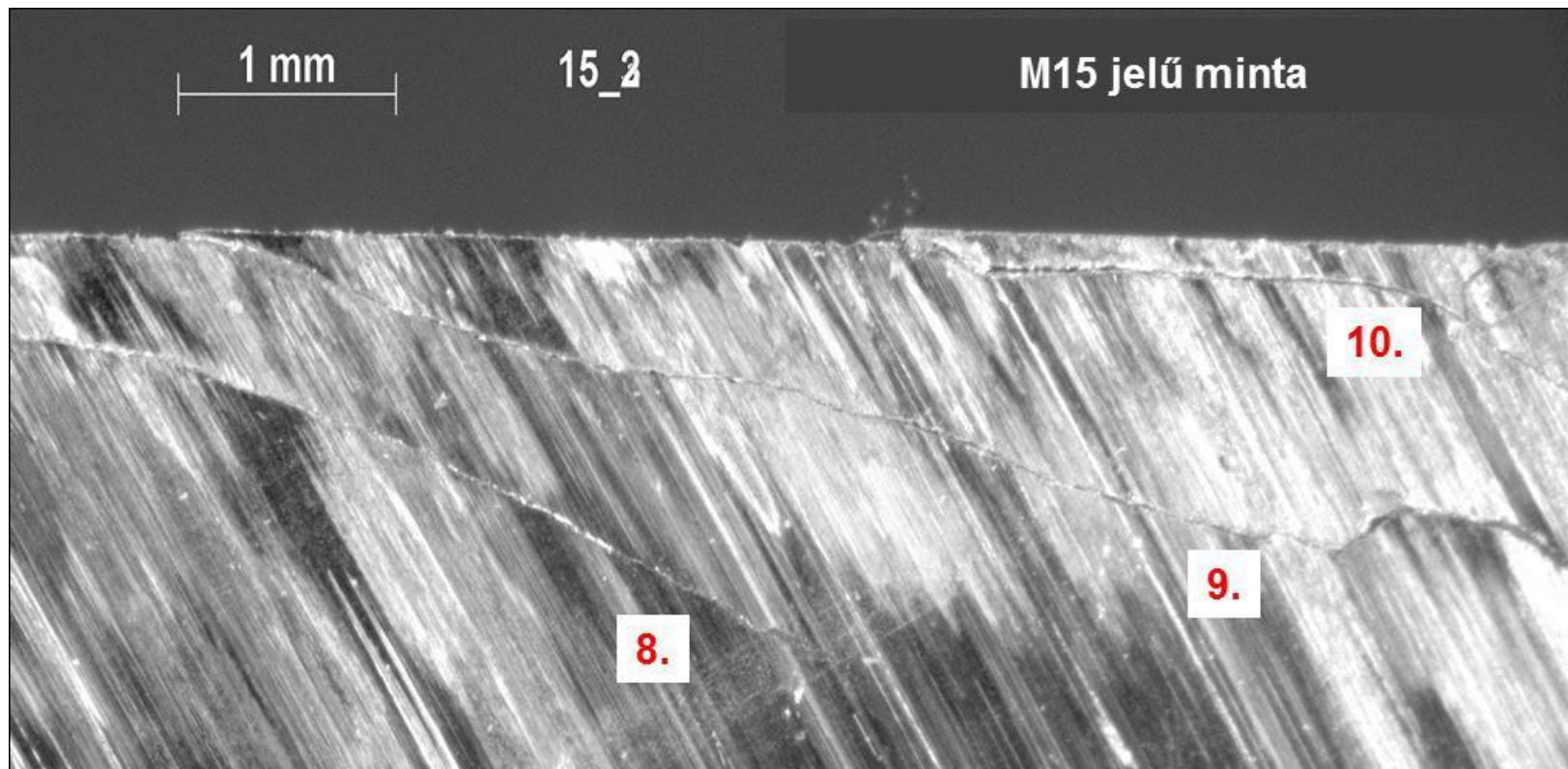
A repedések geometriájának vizsgálata mikroszkóppal a sínfej
hosszmetében

M4 jelű minta repedései



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

M13 jelű minta repedései



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

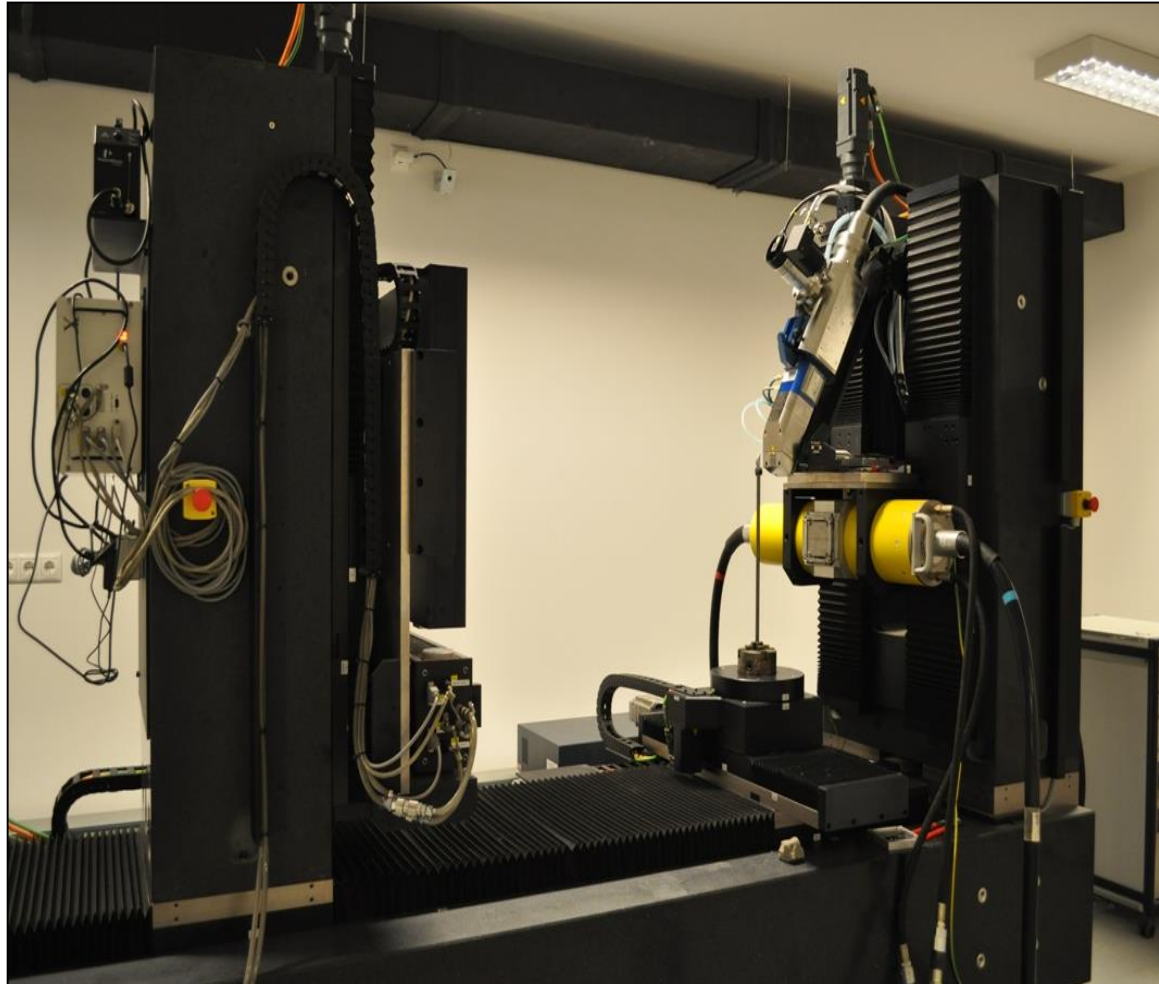
A minták repedéseinek geometriai adatai

Minta jele	Összes / egymás alatt futó repedések száma (db)	Repedések távolsága egymás felett (mm)	Max. repedés-hossza (mm)	Repedések legnagyobb mélysége (mm)	Sínfejbe hatolási szög (deg) és futásirány
M4 (54 r.)	7/3+2+2	0,3...0,7	16,4	1,6	5...8, változatlan
M10 (54 r.)	5/3+2	0,2...0,8	14,1	2,1	7...8, változatlan
M11 (60 r.)	5/-	-	6,0	1,8	13...20, változatlan
M13 (60 r.)	4/-	-	5,1	1,6	20...24, változatlan
M15 (60 r.)	14/4+4	0,4...0,6	4,4	0,8	7...13, változatlan
M17 (60 r.)	11/2+4+4	0,8...1,4	5,6	1,7	14...18, változatlan

4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

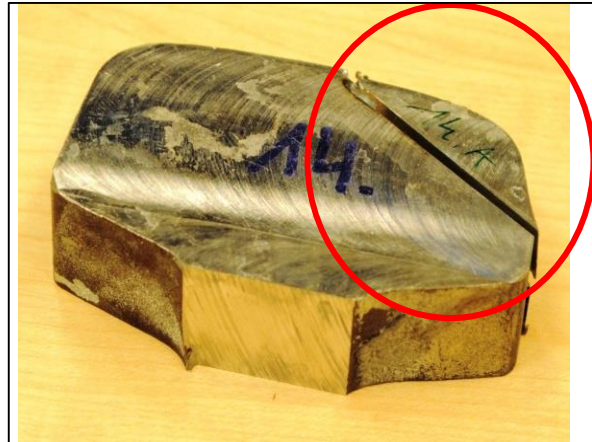
A repedések térbeli geometriájának vizsgálata CT berendezéssel

YXLON Modular ipari CT berendezés

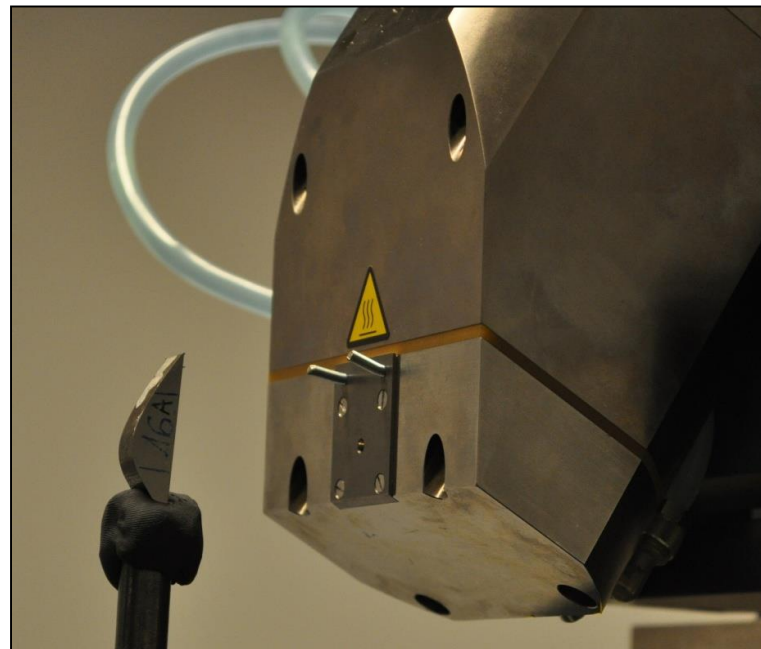


4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

A sínfej vizsgálati minta kialakítása

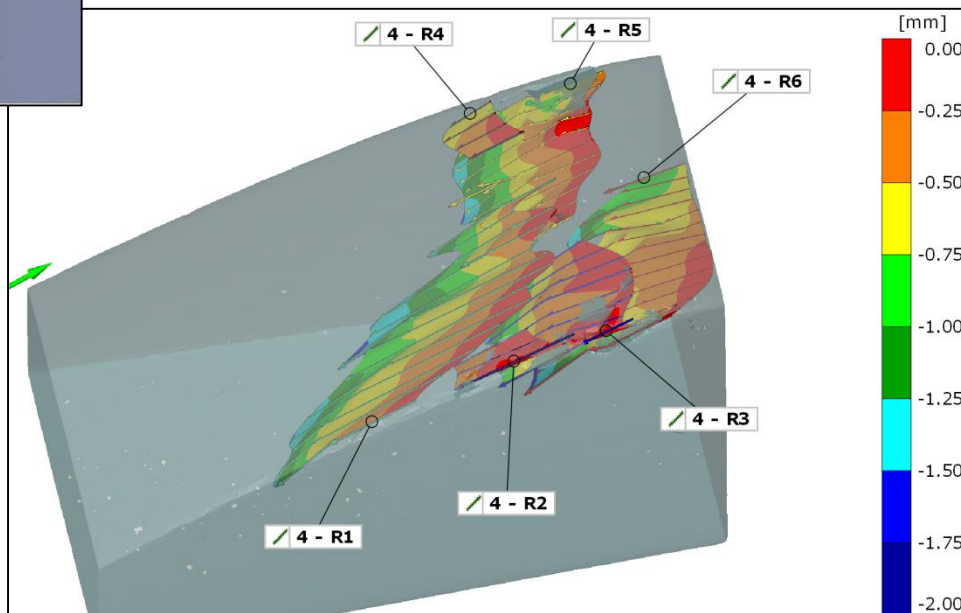
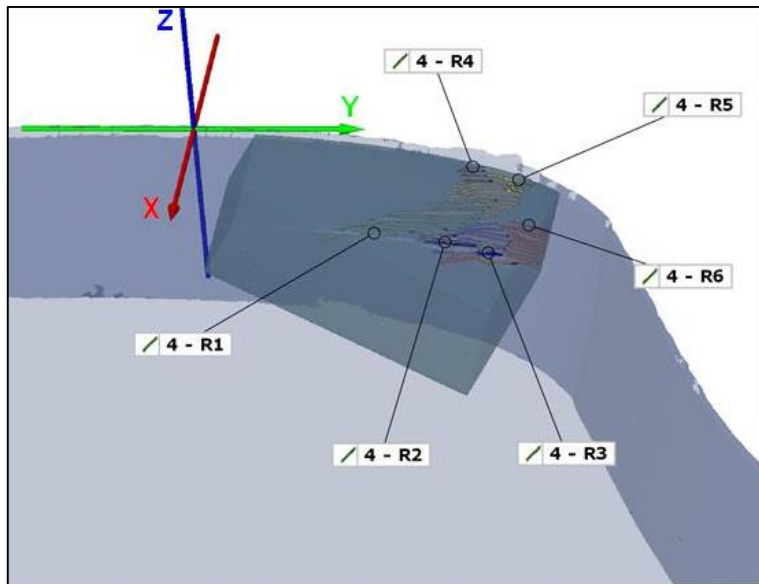


*A vizsgált minta és a 225 kV-os
mikrofókuszú röntgencső*



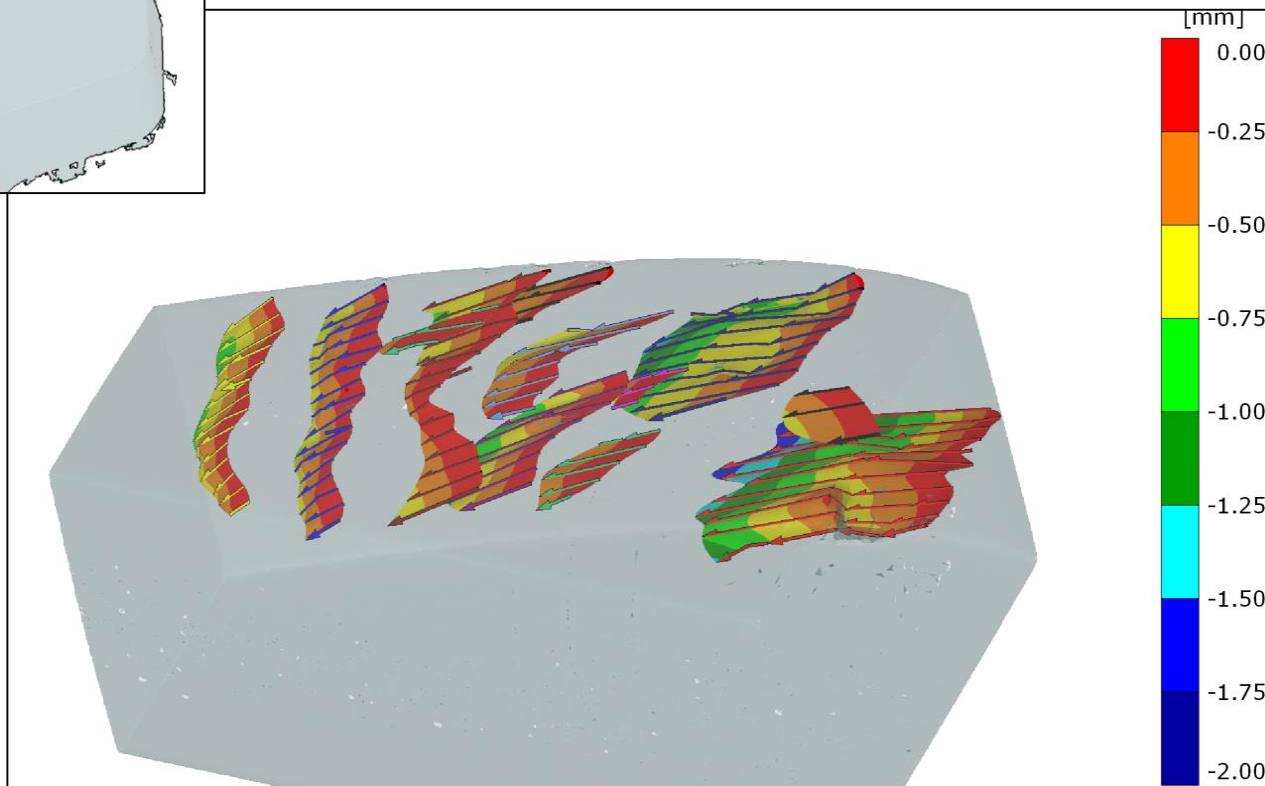
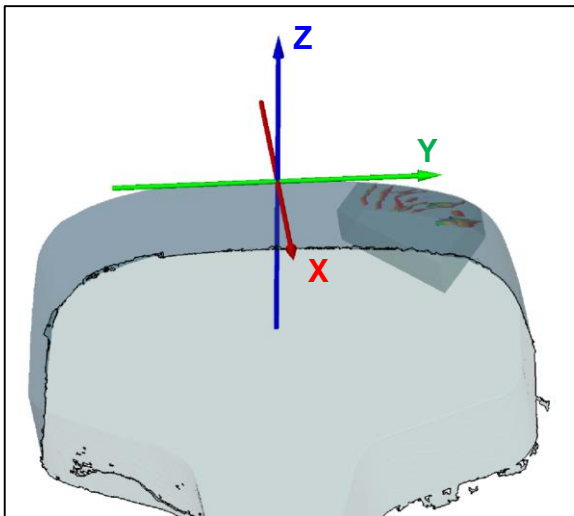
4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

M4 jelű minta



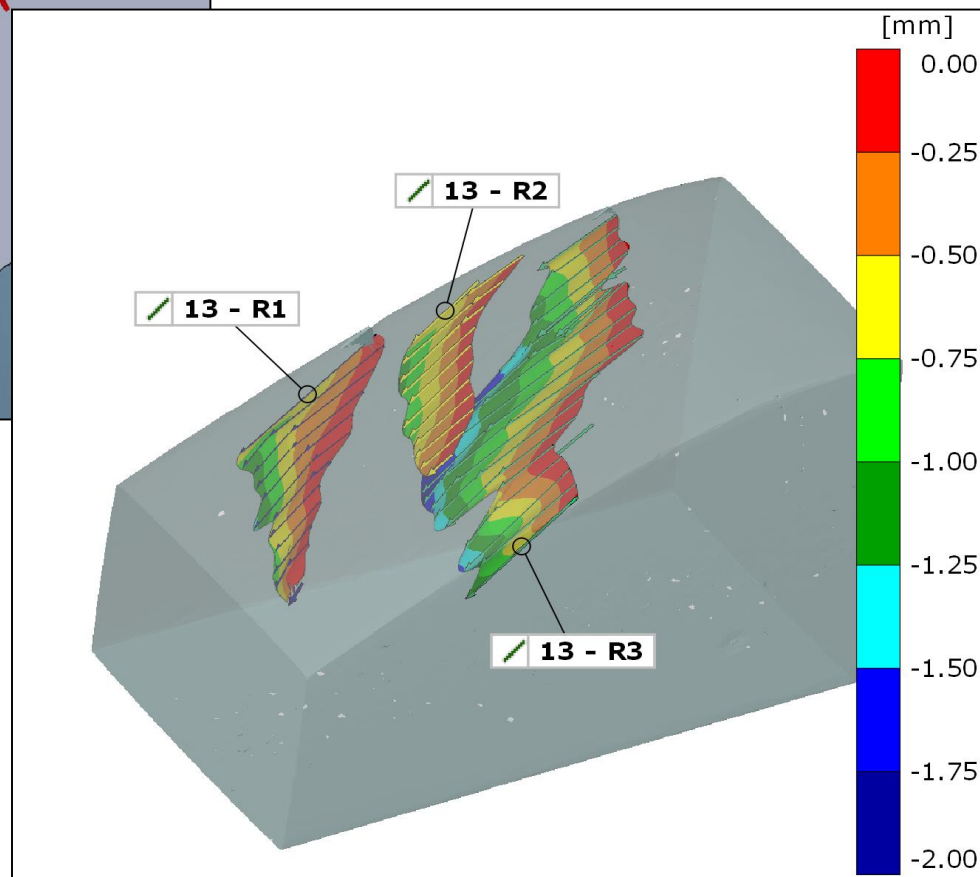
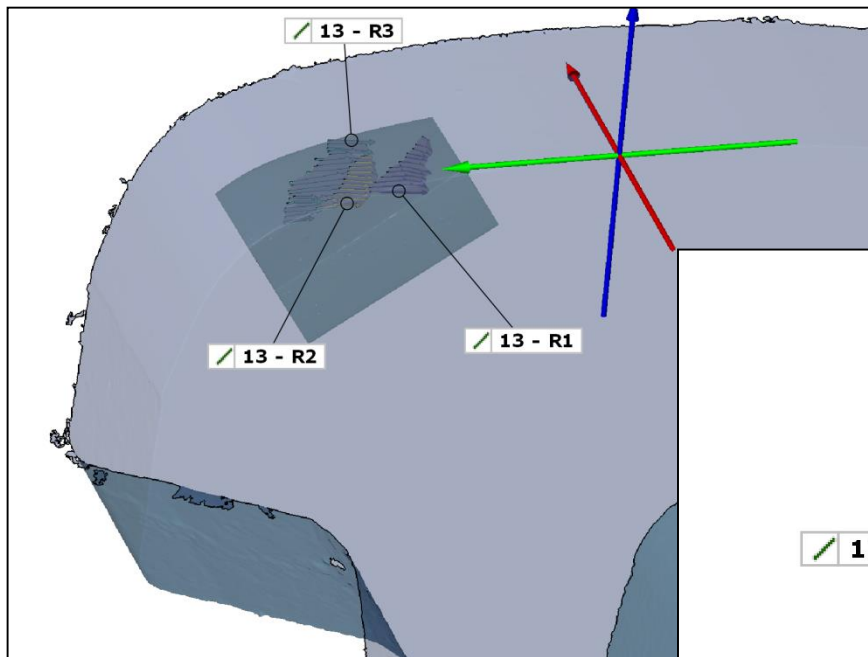
4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

M11 jelű minta



4. A HC REPEDÉSEK GEOMETRIÁJA

M13 jelű minta

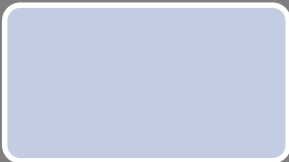


5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

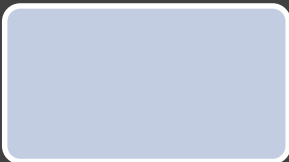
Alkalmazható roncsolásmentes vizsgálati módszerek



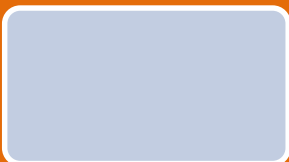
Vizuális vizsgálat



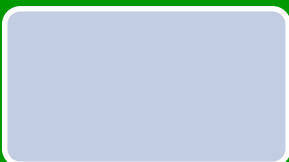
Penetrációs vizsgálat



Mágneses vizsgálat

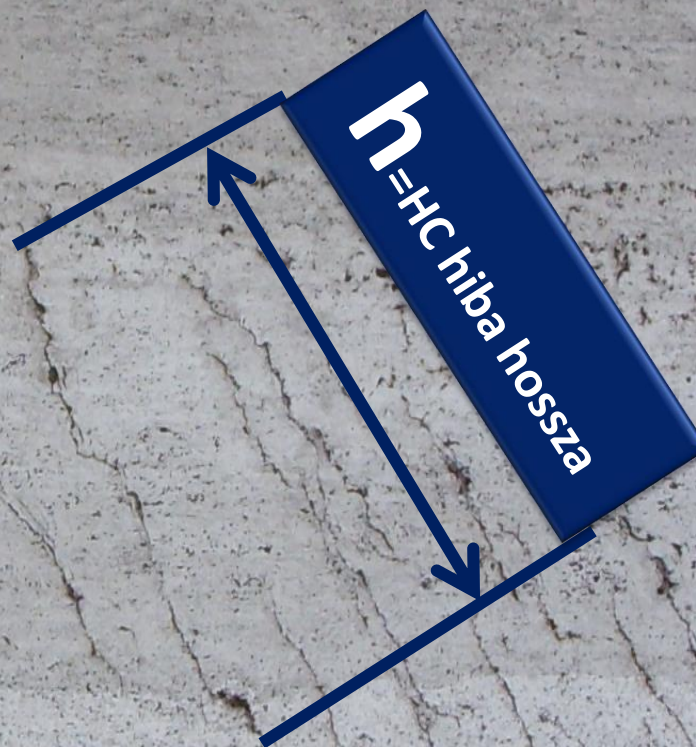


Ultraszagos vizsgálatok



Örvényáramos mérések

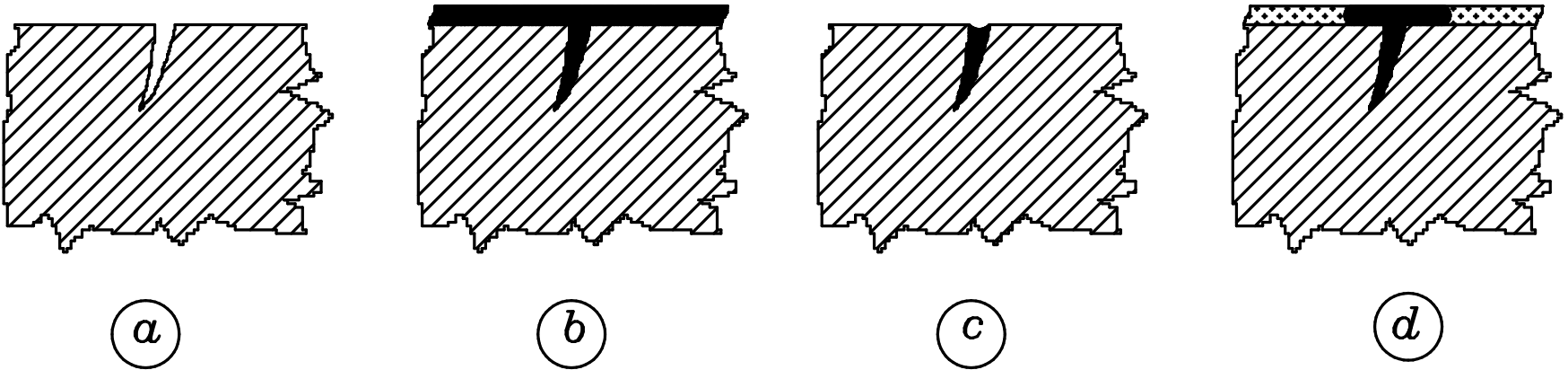
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE



Repedés hossza	Osztályozás
Kevesebb mint 10 mm	Kicsi
10-19 mm	Mérsékelt
20-29 mm	Súlyos
30 mm-től	Veszélyes

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Folyadék behatolásos vagy penetráló folyadékos vizsgálat

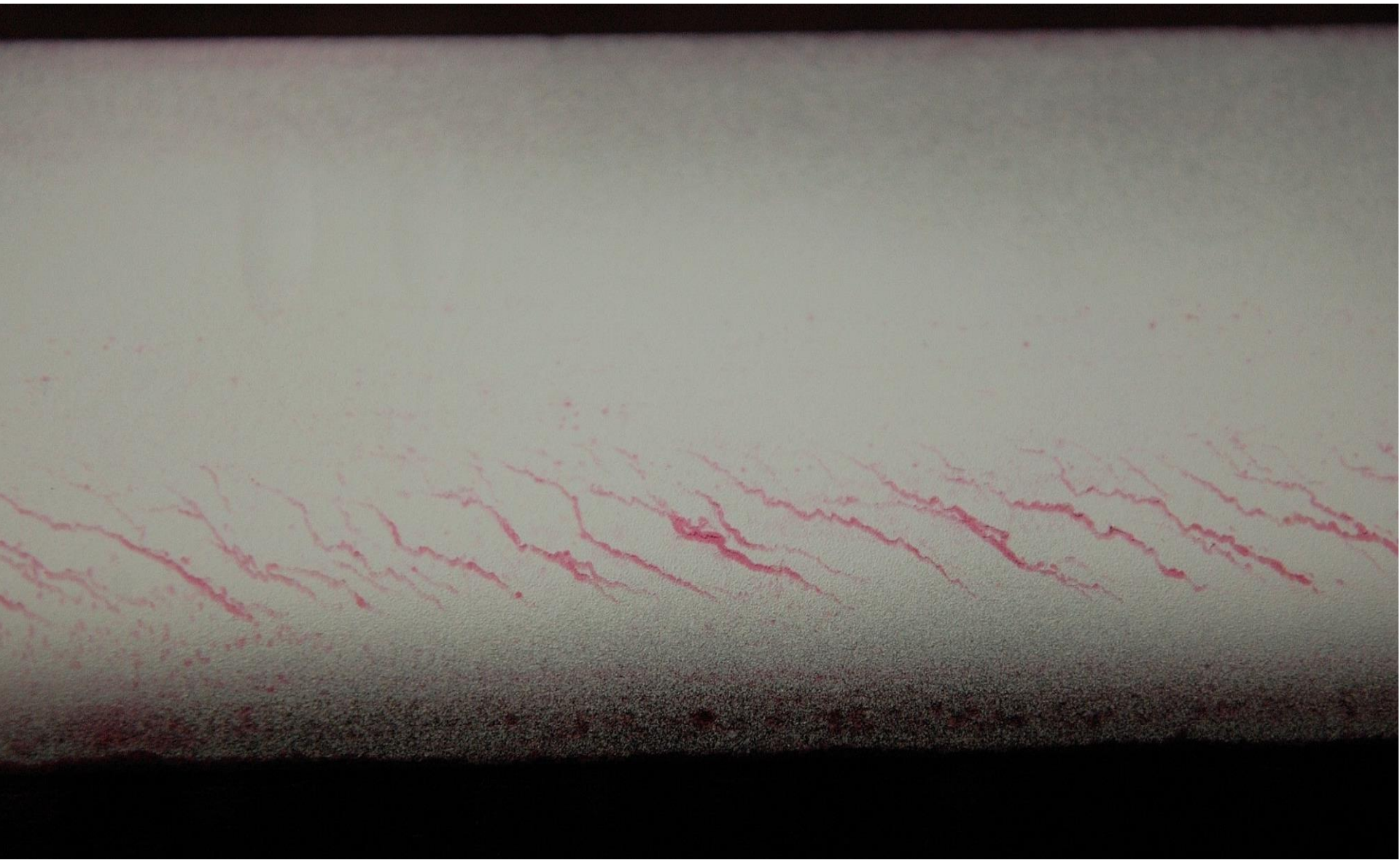


A penetrációs vizsgálat lépései:

- a. felület előkészítése tisztítása,*
- b. a penetrálófolyadék felvitele a vizsgálandó területre,*
- c. a felesleges folyadék eltávolítása,*
- d. előhívás, értékelés*

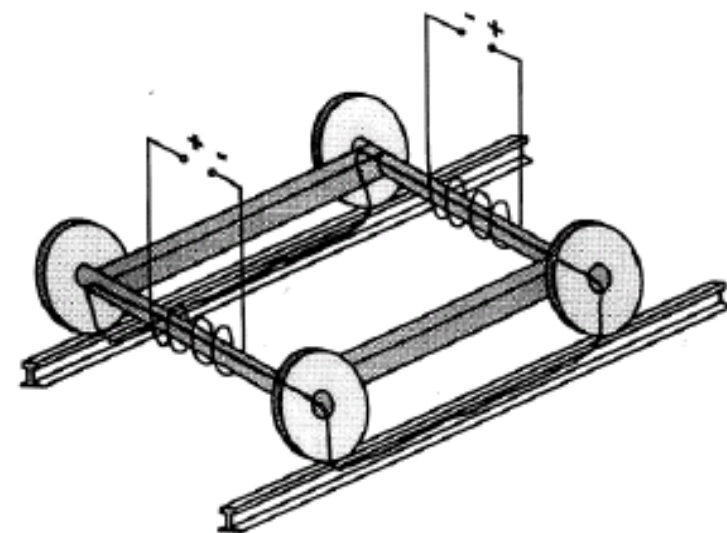
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Penetráló folyadékos vizsgálata



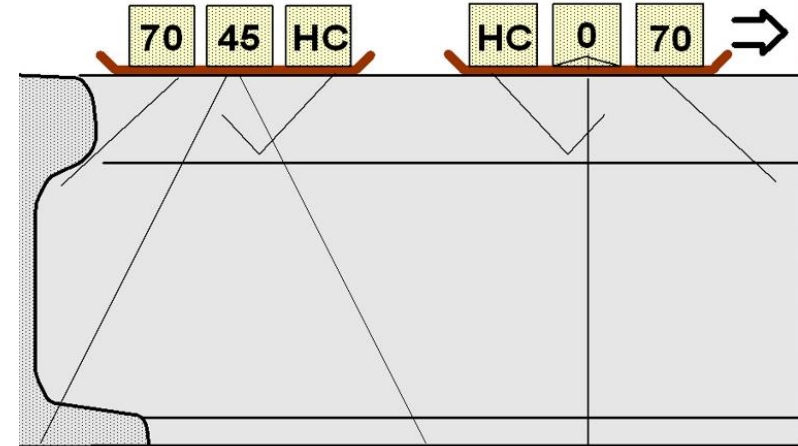
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Mágneses mérés



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Kézi ultrahangos vizsgálat



12:44:00 CDU: UMU: Registration on 0.0 km/h

HC	H = 38	L = 61	N = 9	Board 2	HC
HC	LEFT HC° FORW ECHO (Gauge side)		Kd = -14	t. delay	HC
				4.3 us	
70				TVG	70
				30 us	
45				Sens.	45
				23 dB	
0				Tone	0
				on	+

40 km 3 picket 2 m 2 m

Menu B-search Hand PT Marks Rail type 0 dB Pause 2 echo

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gépi örvényáramos mérés (SDS)

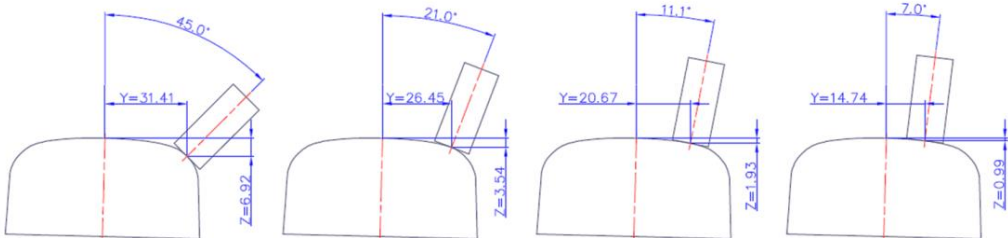


Sonde 1

Sonde 2

Sonde 3

Sonde 4



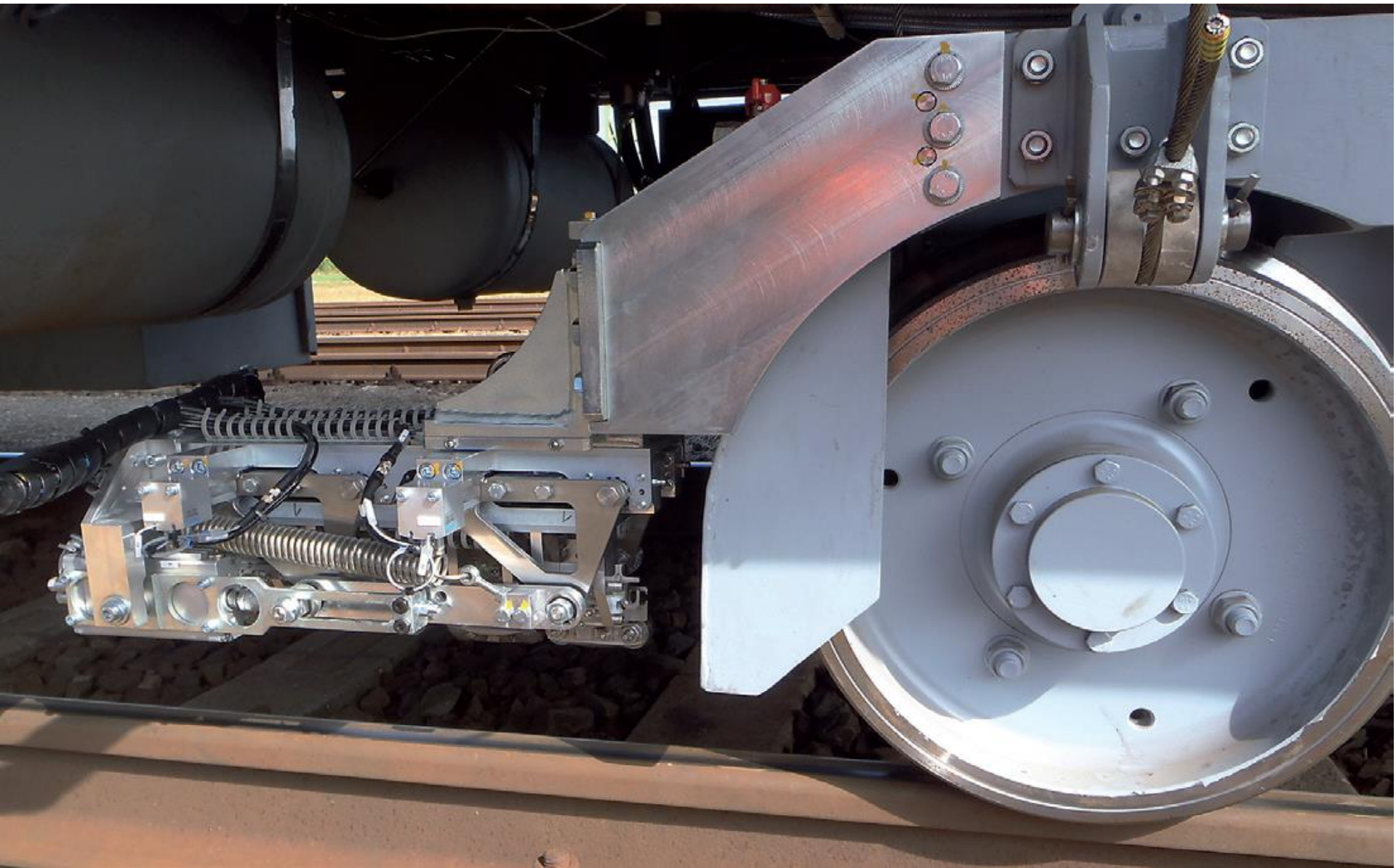
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gépi örvényáramos mérés (FMK-008)



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

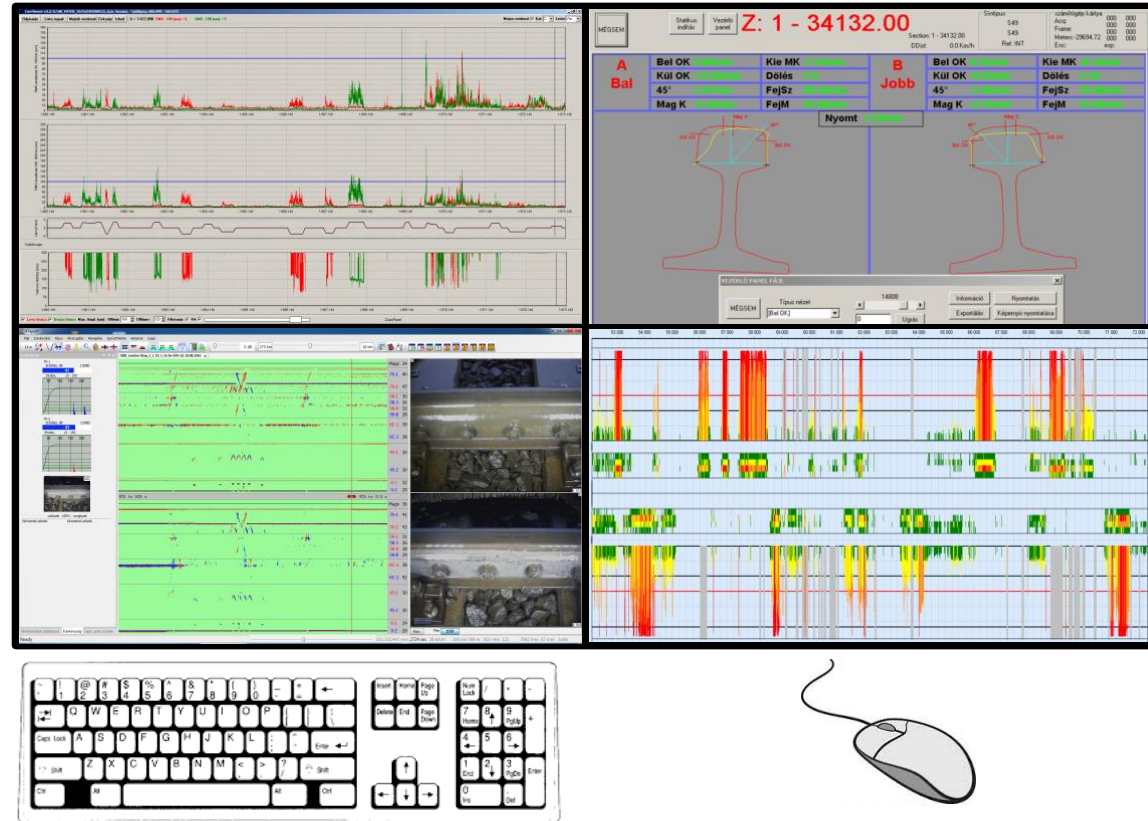
Gépi örvényáramos mérés (FMK-008)



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Komplex kiértékelő rendszer (FMK-008)

- ✓ Komplex sínhiba értékelés.
- ✓ Mérőrendszerek eredményeinek párhuzamos áttekintése.
- ✓ Komplex információ az adott sínhiba környezetéről.



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Kézi örvényáramos mérőműszerek

WPG 2
PLR GmbH



WPG D340
Rohmann GmbH



WPG NT
PLR GmbH



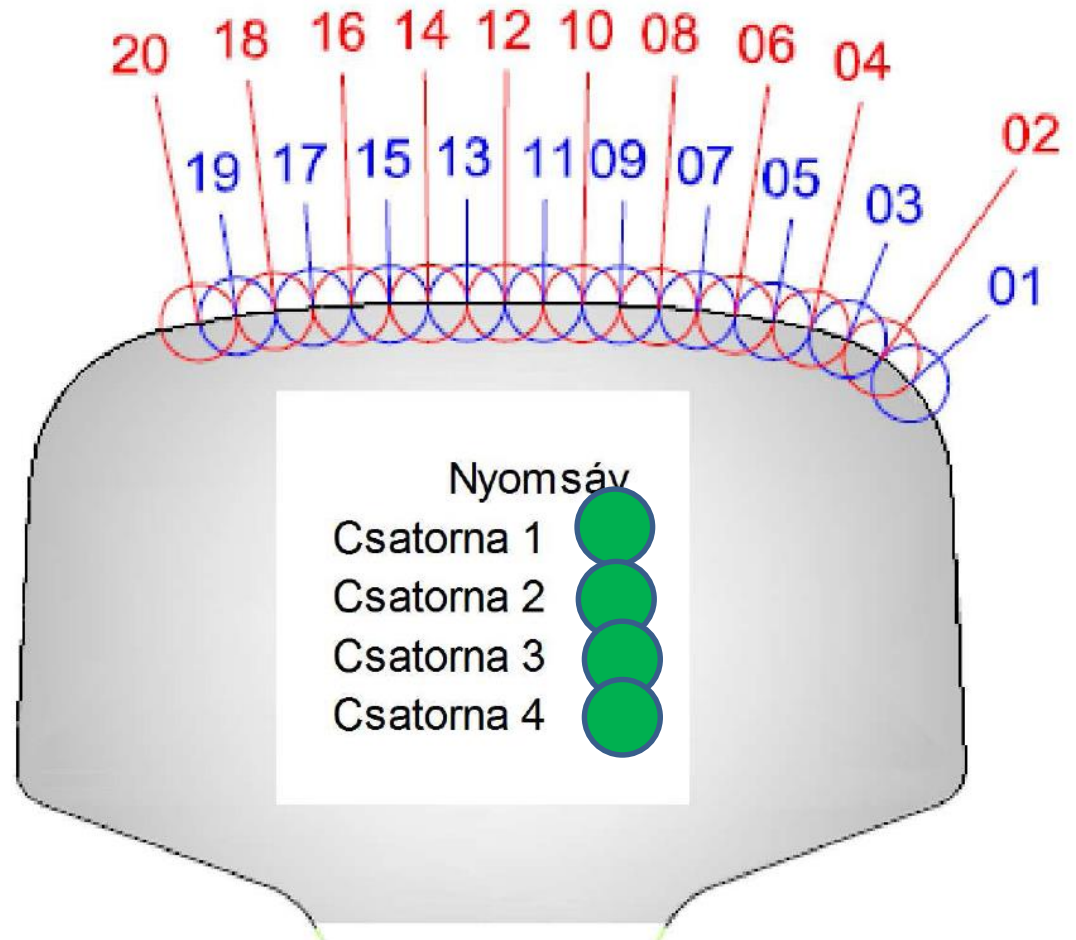
Magyar fejlesztésű
műszere

GF04 **HC SCAN**
Metálelektro Kft



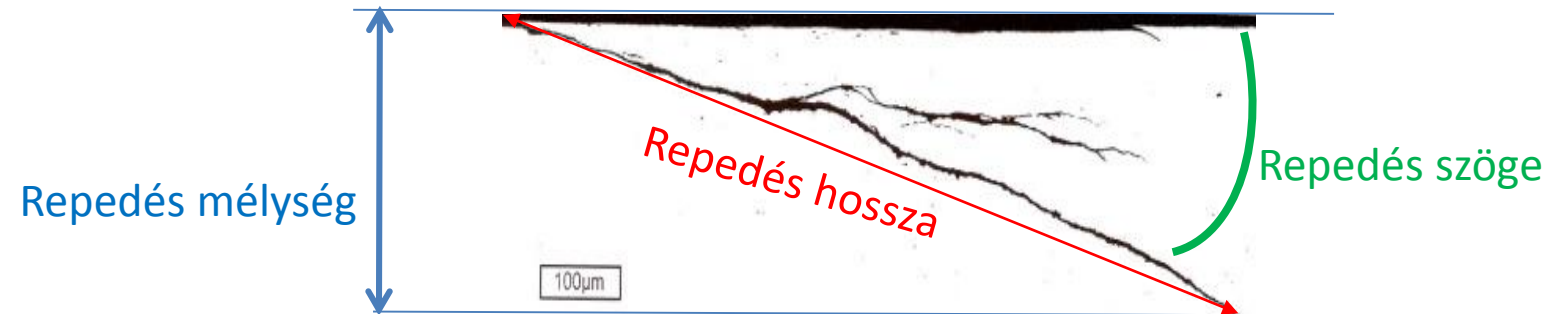
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Vizsgáló szondák



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

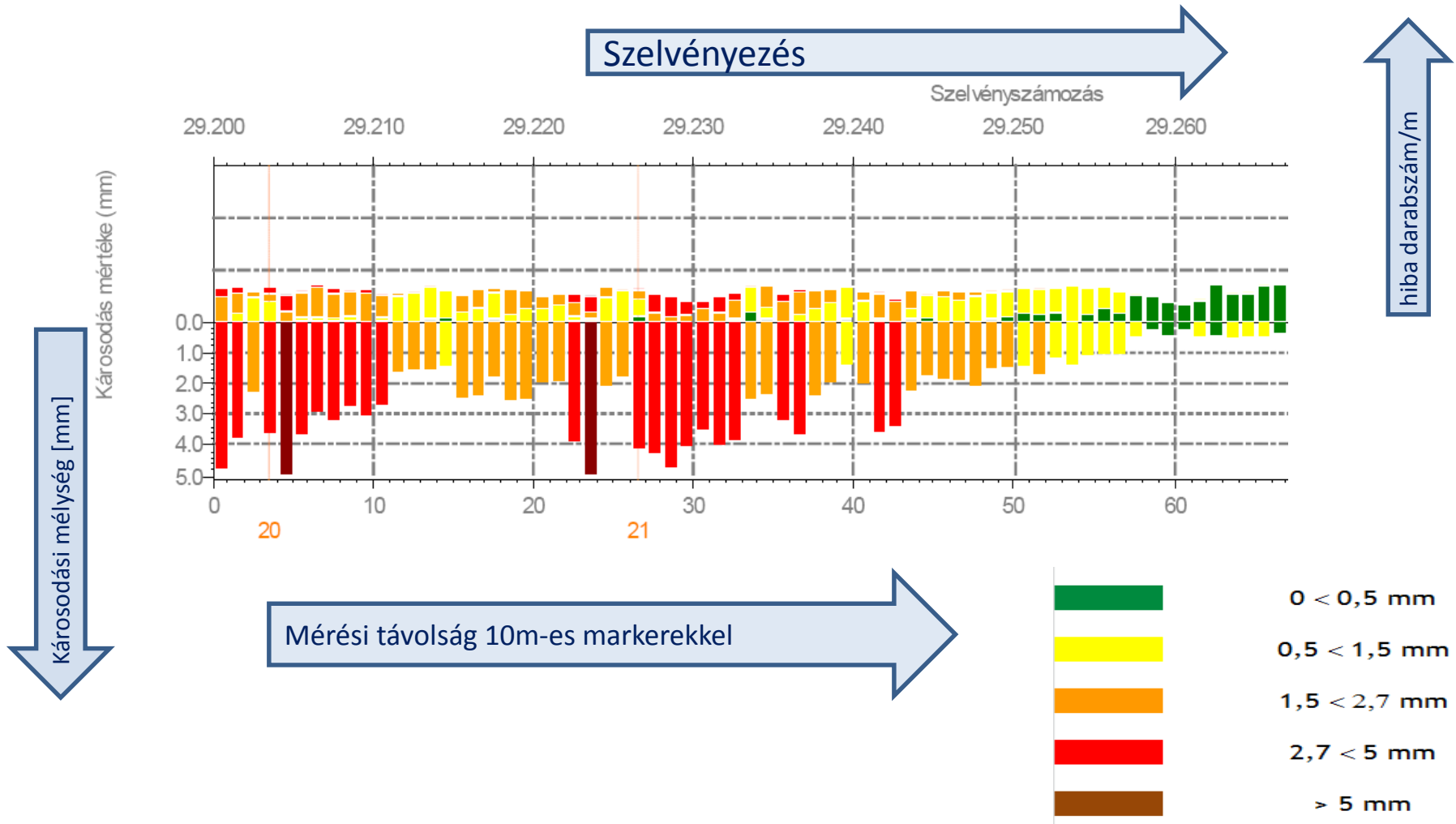
Károsodási mélység számítási elve



$$\text{Repedés mélység} = \text{Repedés hossza} * \sin (\text{Repedés szöge})$$

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

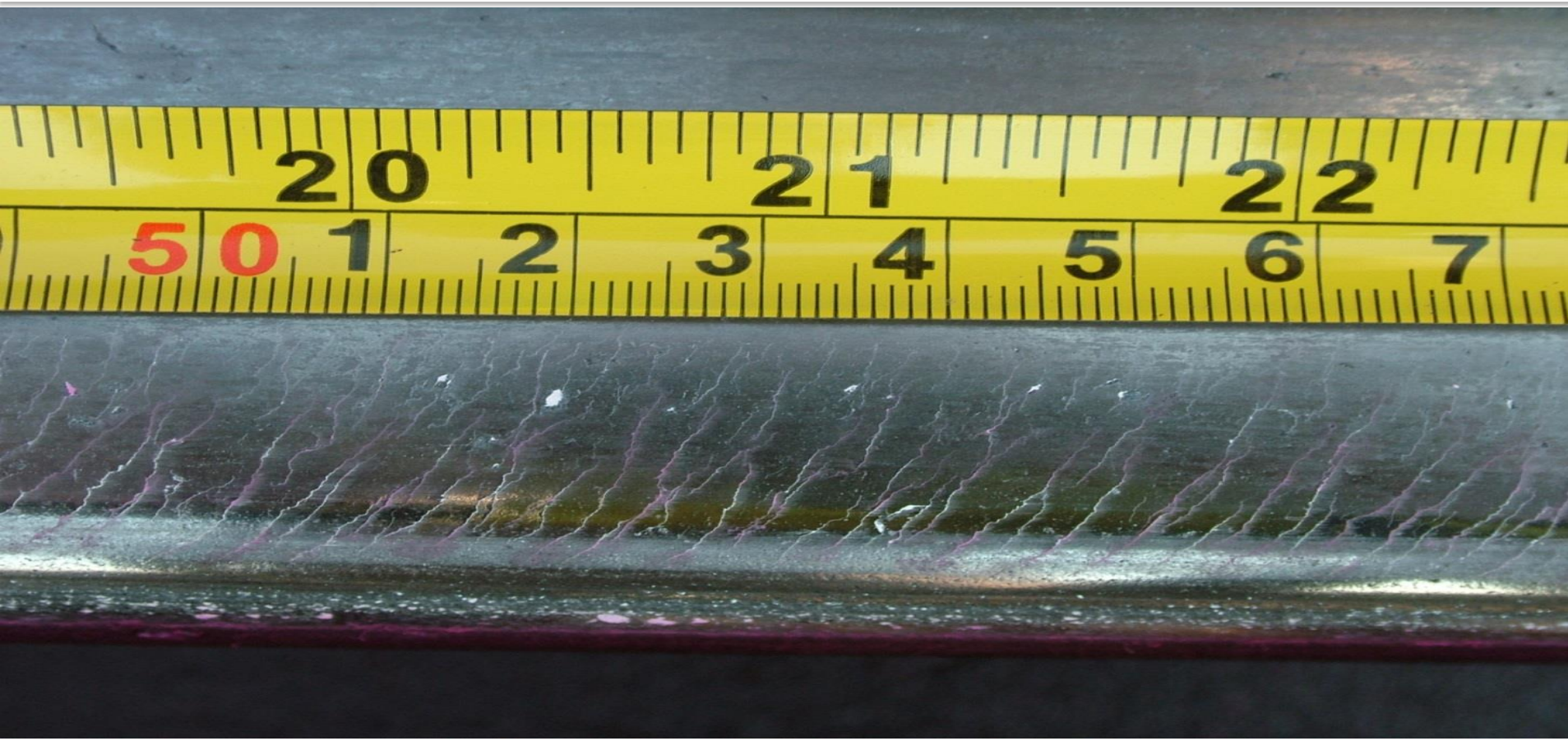
Örvényáramos mérés kiértékelése



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Head Check	Gördülőfáradási repedés főként ívek külső sínszálának vezetési felületén, melyet a kerék-sín kapcsolat nagy dinamikus terhei miatti anyagfáradás okoz



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Squats	Egyedi, lapos szögű repedések a futófelület alatt V-alakban (a V szárai a vezetési felület felé nyílnak), melyek idővel barnás színű besüllyedéseket okoznak



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Repedésfészek (Belgrospi)	repedésfészek, mely mindig a rezgési hullámos kopás völgyeiben keletkezik anyagfáradás miatt, és elválaszthatatlan a hullámos kopási jelenségtől



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Nyelvképződés	Nyelvképződés általában az ívekben gyakori, ahol a nyomkarima érintkezési pontján kialakulnak a felületi repedések, majd a nyomkarima hatására a repedésekből kiinduló nyelvek képződnek



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Benyomódás	Egyedi, külső tárgy (pl. kődarab) kerék és sín közé szorulásával keletkezett sínhiba



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése

Belső ívsín hullámos kopása

Leírás

Ívek belső sínszálán
jelentkező csúszásokból
származó kopások miatt
keletkező hullámosodás



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése

Rezgési hullámos kopás

Leírás

Egyenesben és nagysugarú ívek mindkét sínszálán keletkező hullámosodás, melyet a kerék-sín kapcsolat rezgései miatti anyagelváltozás okoz



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Gördülő érintkezés által okozott fáradásos sínfej hibák fajtái

Hiba megnevezése	Leírás
Kerékmegcsúszási helyek	Gyorsítási és fékezési szakaszokon fellépő kipörgés, blokkolás okozta anyagfelkeményedés, anyagmegfolyás, bemélyedés stb.



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Károsodási mélység szerinti hiba osztályozás

Hiba osztály	Károsodási mélység (m_k) [mm]
5. osztály	$m_k < 0,5$
4. osztály	$0,5 \leq m_k < 1,5$
3. osztály	$1,5 \leq m_k \leq 2,7$
2. osztály	$m_k > 2,7$
1. osztály	$m_k > 2,7$ és UH jel is van

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

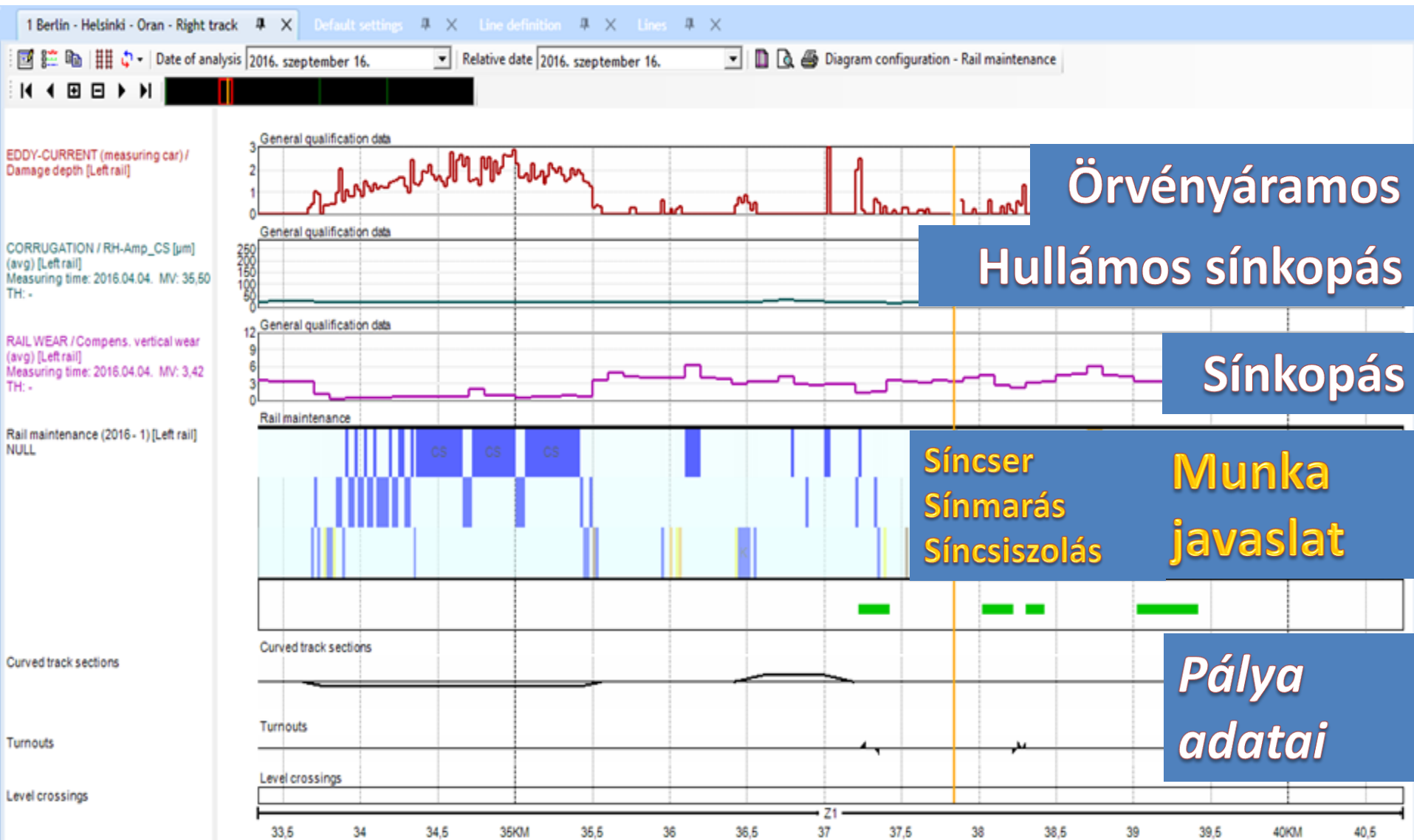
Gördülőterhelésből származó fáradásos sínhibák

Örvényáramos mérés

Osztály	Károsodási mélység (m_k) [mm]	Szükséges intézkedés	Határidő
5	$m_k < 0,5$	Sínmegmunkálás.	24 hónapon belül
4	$0,5 \leq m_k < 1,5$	Sínmegmunkálás.	18 hónapon belül
3	$1,5 \leq m_k \leq 2,7$	Sínmegmunkálás vagy sín-, alkatrészcsere	12 hónapon belül munkáltatás, elmaradása esetén azt követő 3 hónapon belül komplex örvényáramos mérés
			3 havonta speciális ultrahangos vizsgálat,
2	$m_k > 2,7$	Speciális ultrahangos vizsgálatnál nincs értékelhető jel.	6 hónapon belül munkáltatás, elmaradása esetén $0,8 \cdot V$, max. 100 km/h sebességkorlátozás.
		Sínmegmunkálás, vagy sín-, alkatrészcsere	3 hónapon belül munkáltatás,
1	$m_k > 2,7$	UH jel van.	40 km/h sebességkorlátozás bevezetése azonnal!
		40 km/h sebességkorlátozás bevezetése azonnal!	3 hónapon belül munkáltatás,
		Sín-, alkatrészcsere	20 km/h sebességkorlátozás!

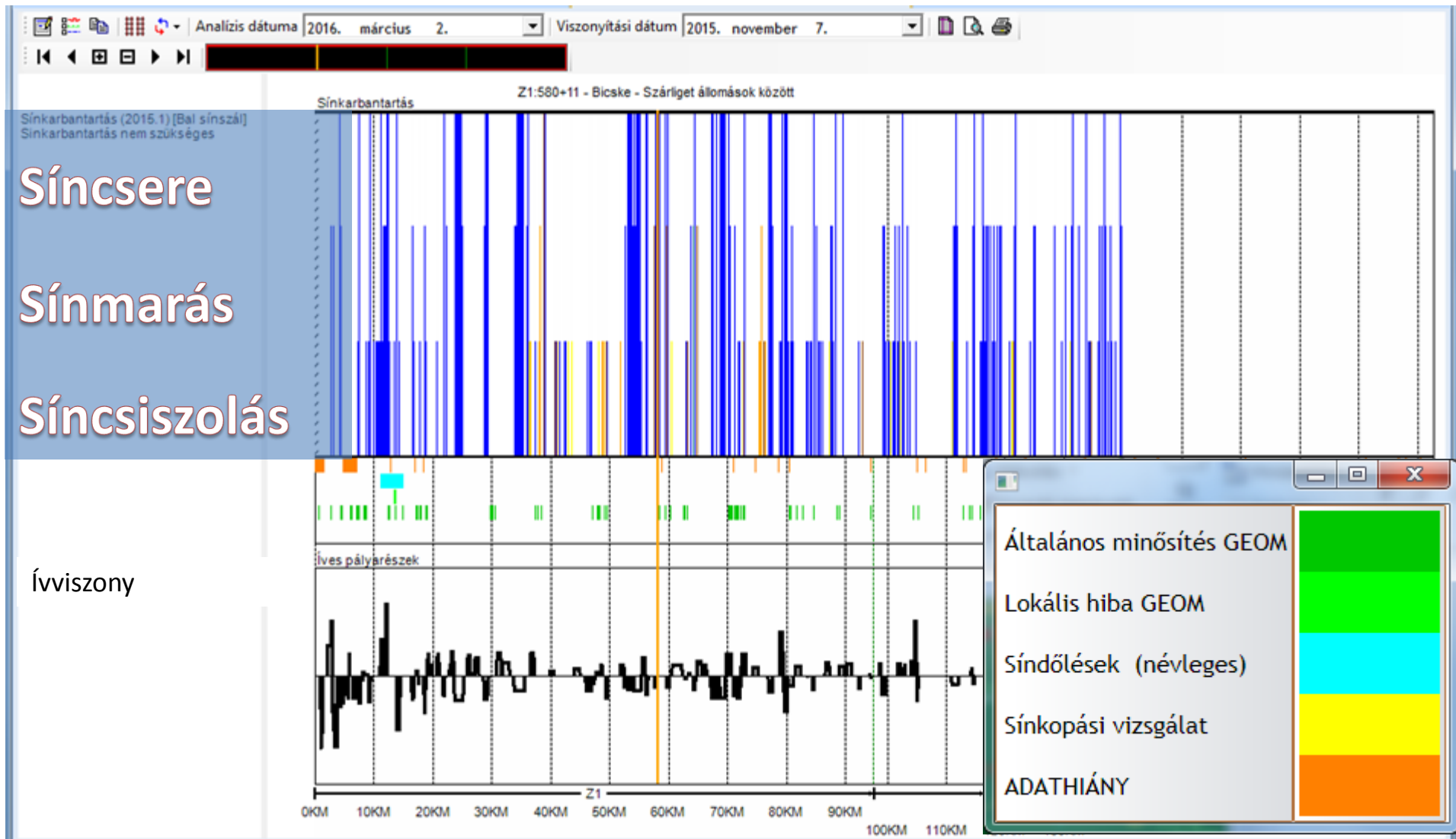
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Örvényáramos mérés kiértékelése



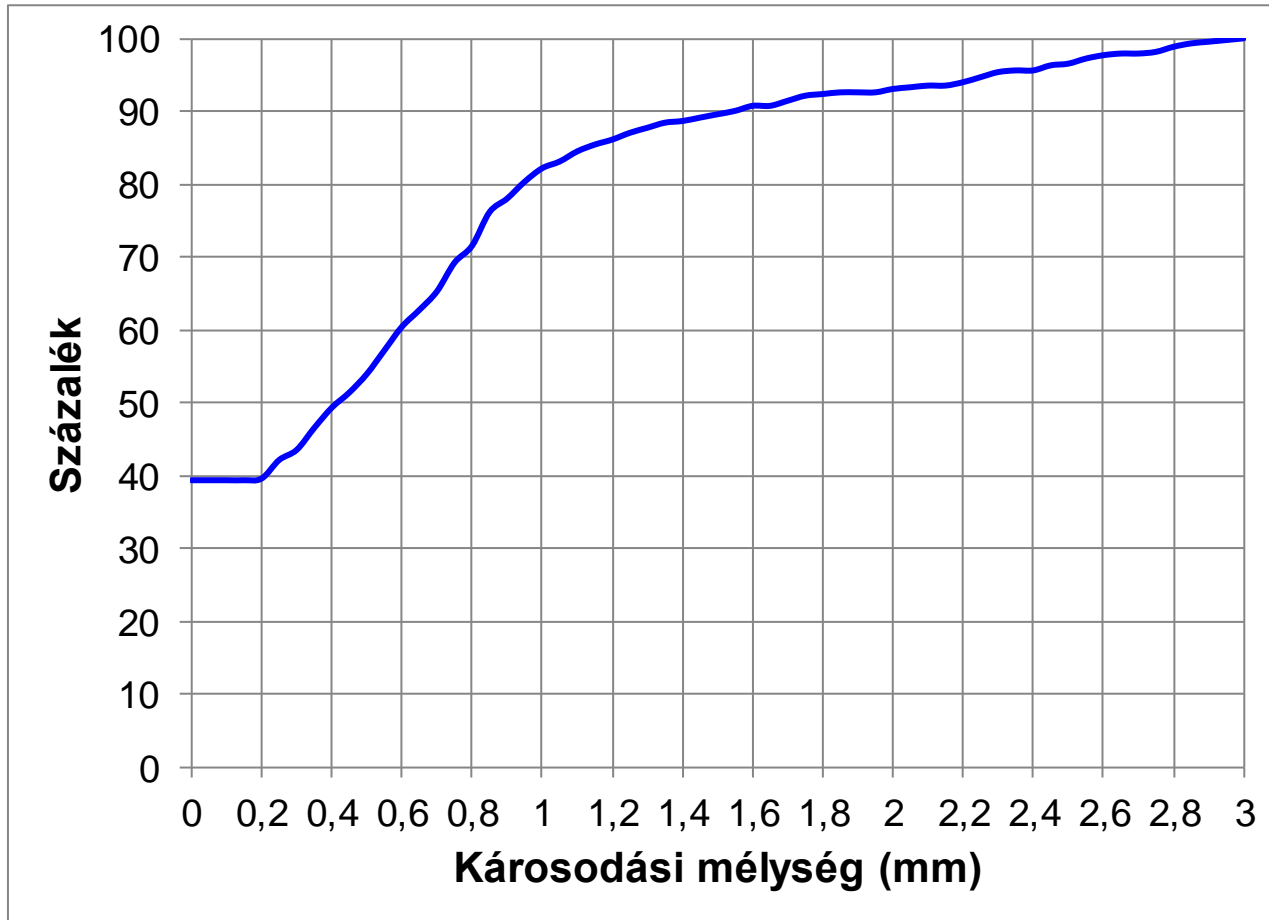
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Örvényáramos mérés kiértékelése



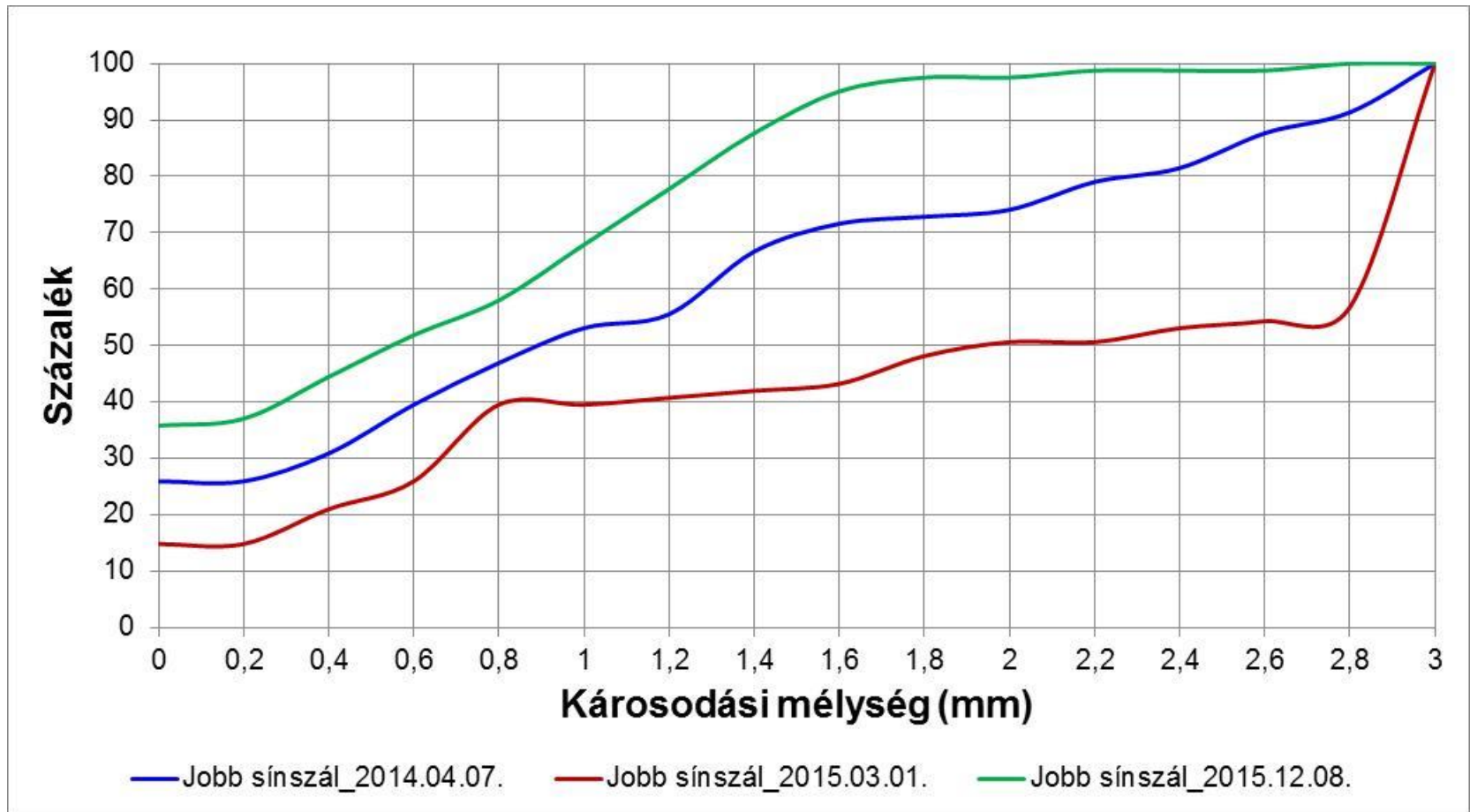
5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Az állapot változásának jellemzése eloszlásgörbékkel



5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

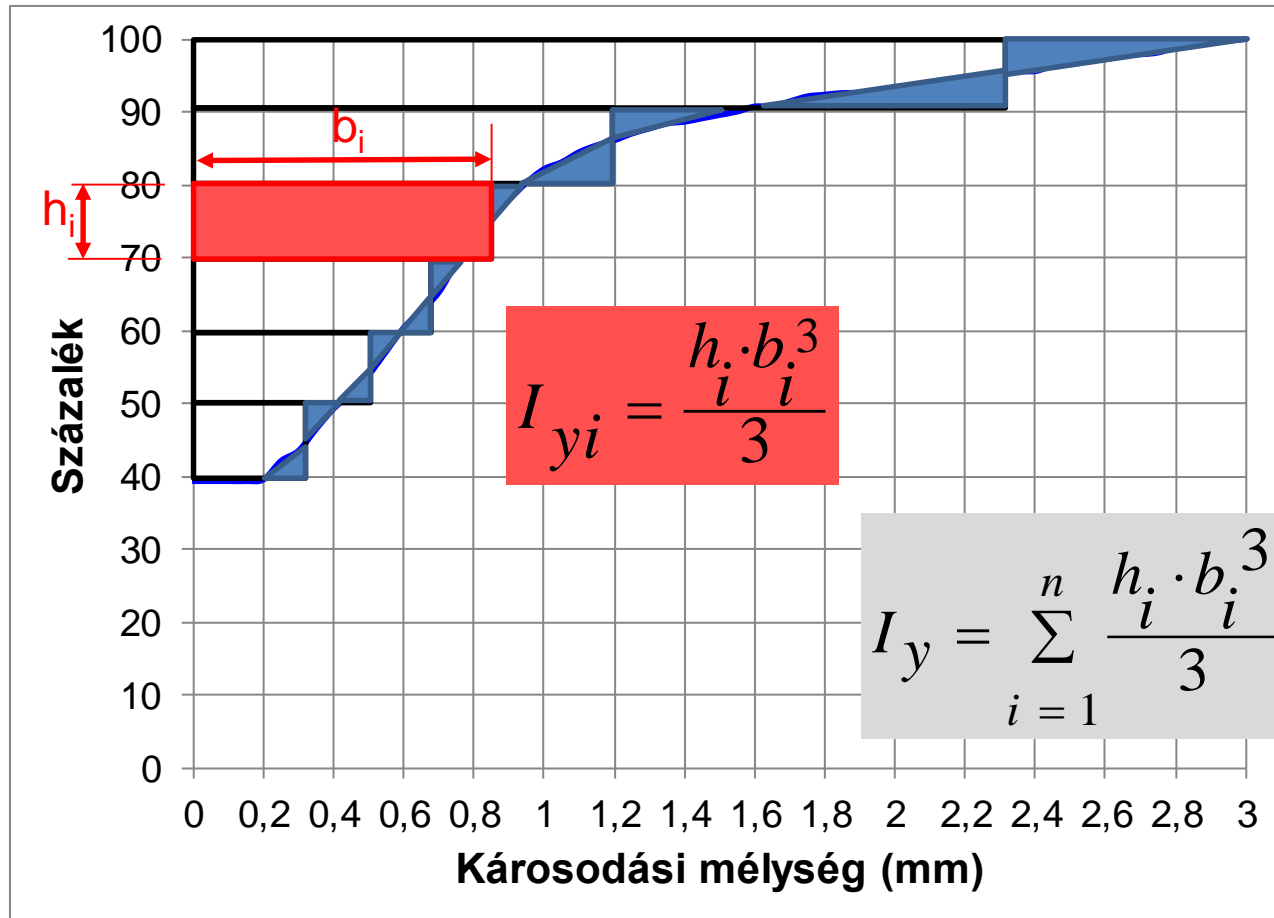
Adott vonalszakasz állapotváltozásának jellemzése eloszlásgörbékkel csak sínmegmunkálós szakasz



Számszaki jellemzés: **Alakszámmal**, azaz az eloszlásgörbe függőleges tengelyre számított másodrendű nyomatékával.

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

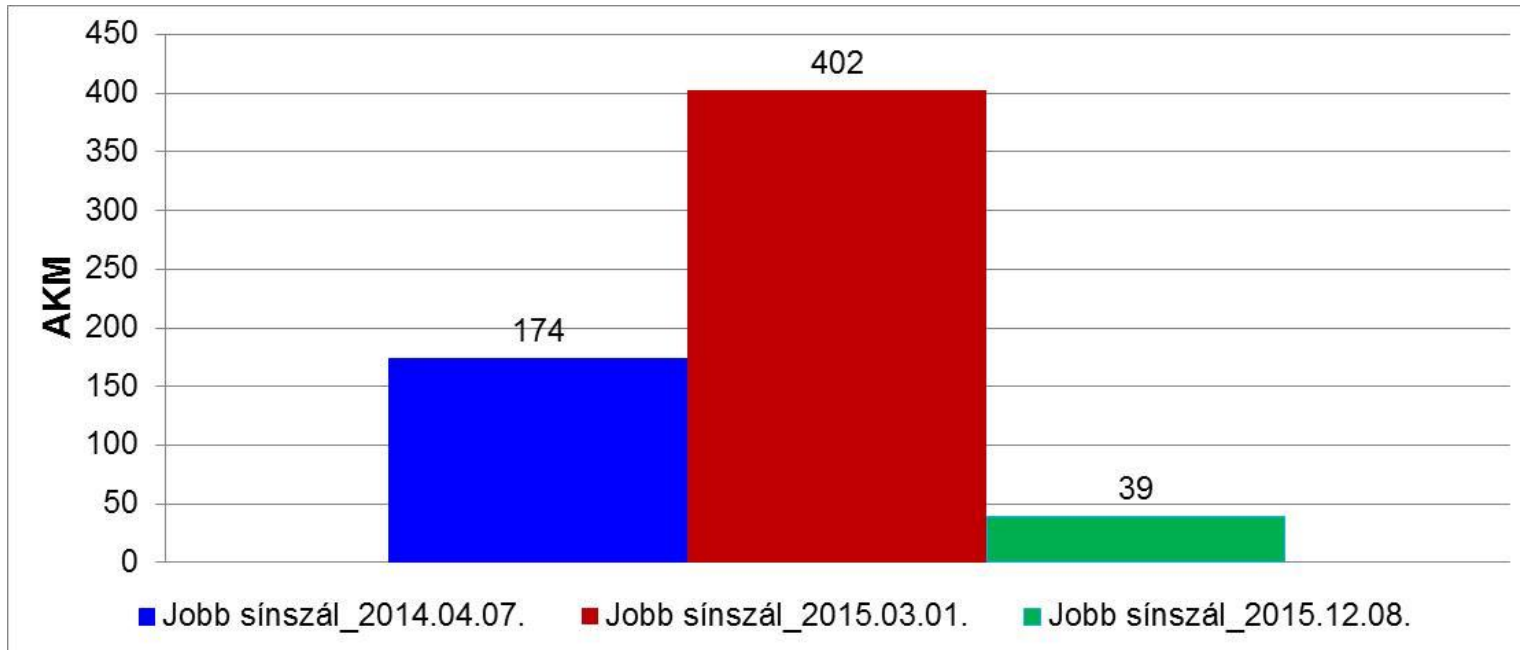
Az eloszlásgörbe másodrendű nyomatékának közelítő számítása a függőleges tengelyre



Az eloszlásgörbe futása és a közelítés pontossága függ a vízszintes tengely mentén felvett tartomány szélességétől, azaz a hisztogram szerkesztésekor a rekesz értékének nagyságától.

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

**Adott vonalszakasz állapotváltozásának jellemzése AKM alakszámokkal
csak sínmegmunkálós szakasz**



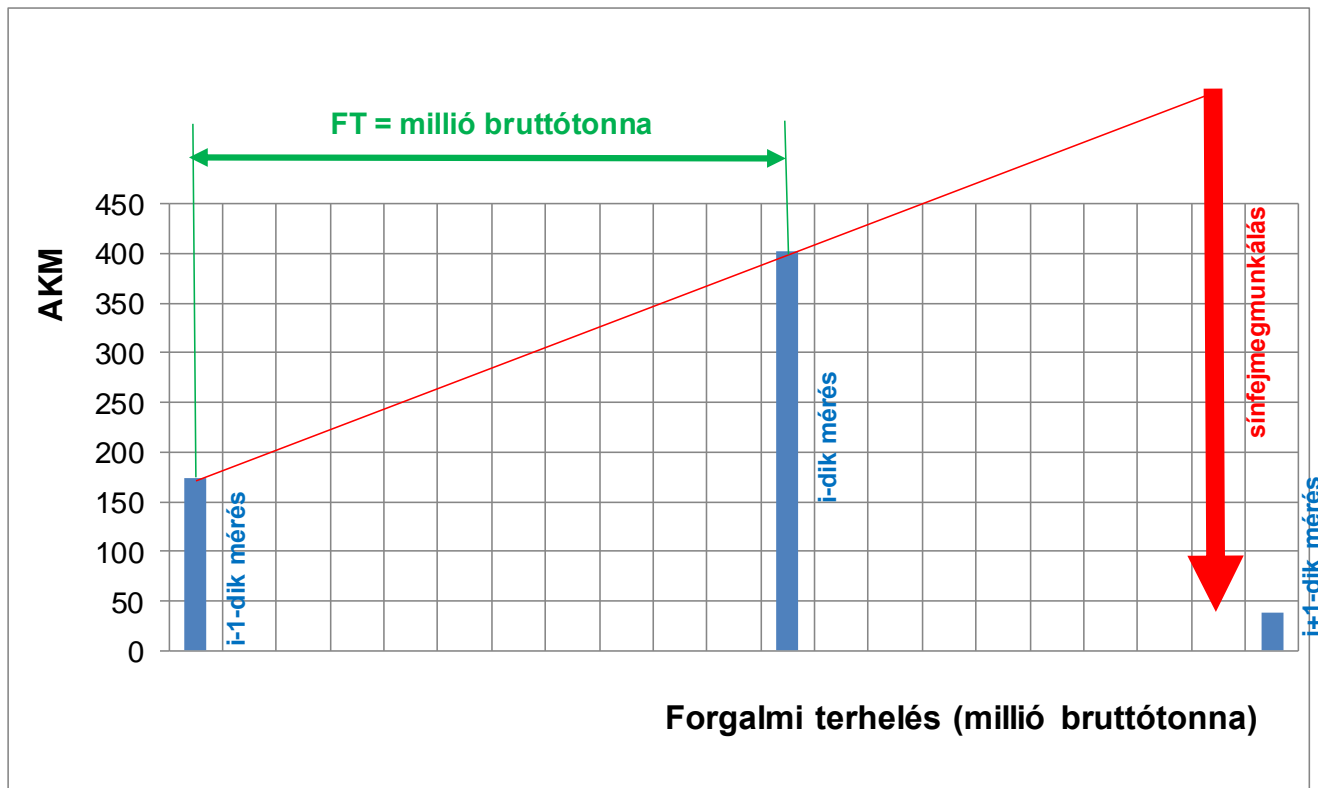
AKM = a károsodási mélység eloszlásgörbéből számított alakszám.

5. A HC HIBÁK MÉRÉSE ÉS AZ ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE

Az AKM alakszám változási sebessége

$$\Delta AKM_{i-1_i} = \frac{AKM_i - AKM_{i-1}}{FT}$$

ΔAKM_{i-1} = az AKM alakszám változása az i-1-dik és i-edik időpontban lezajlott két örvényáramos mérés között,
 AKM_i = az AKM minősítő szám értéke az i-edik mérés során,
 AKM_{i-1} = az AKM minősítő szám értéke az i-1-edik mérés során,
 FT = a két mérési időpont (i-1 és i) között elviselt forgalmi terhelés (millió bruttótonna)





Köszönjük a megtisztelő figyelmet!

**jbeli@mavkfv.hu
horvat.sze@gmail.com**