



## DR. ING. XAVER WIRTH

Fejlesztési és konstrukciós vezető  
KNOOR-BREMSE München

# Tárcsásfékek karbantartási költségének csökkentése újszerű KSR®-fékbetétek alkalmazása révén

(A német eredeti „Reduzierung der Unterhaltskosten von Scheibenbremsen durch den Einsatz neuartiger KSR®-Bremsbeläge” c. tanulmány némileg rövidített magyar fordítása, fordította Dr. Heller György, lektorálta Dr. Oroszváry László)

## 1. Bevezetés

A súrlódásos fékek általában azzal a kedvezőtlen tulajdonsággal rendelkeznek, hogy ki vannak téve a kopás jelenségének.

Ez a megállapítás különös mértékben érvényes a vasúti járművek nagyteljesítményű tárcsásfékjeire vonatkozóan.

Ezzel kapcsolatos lényeges célkitűzést jelent az a törekvés, hogy a teljesítmény állandó fokozása mellett az egymással súrlódásos kapcsolatban álló partnerek energiától függő kopásának mértékét csökkentsük.

A KNORR-BREMSE cég ezért a vasúti járművek fékgyártójaként az utóbbi években ezen túlmenően azzal a problémával is kezdett foglalkozni, hogy a súrlódó felületek egyenetlen kopási problémáját, az „üreges kopást”, mely eddig a fékgyártóknak, valamint a féküzemeltetőknek a számára egyaránt elkerülhetetlennek tűnt, valamilyen módon megoldja.

Annak érdekében, hogy ennek a problémának a negatív következményei valamiképpen korlátok közé legyenek szoríthatók, a féktárcsákat élettartamuk folyamán pl. többször az ún. padlószint alatti esztergán síkra esztergálták.

Az ez által az értékes súrlódóanyagban keletkező veszteség és maga az utánmunkálás azonban az üzemeltető számára évente milliós nagyságrendű költségigénnyel járnak.

Egy egyszerű kopási törvény figyelembevétele alapján a KNORR-BREMSE cég számára sikerült egy olyan fékbetét kifejlesztése, mely a féktárcsát és a fékbetétet síkra koptatja.

A körgyűrű szektor alakjára történő utalással – a három szövből álló német megnevezés kezdőbetűivel jelölve – a fékbetét a KSR® megnevezést kapta.

Az alábbiakban az üreges kopás keletkezésének okait,

valamint azt az elméletet mutatjuk be, mely az új betét alapjául szolgál. A KSR® betétek alkalmazása révén az üreges kopás elkerülésén kívül elérhető további előnyök bemutatásán kívül azokat a gazdasági jellegű előnyöket is minősítjük, melyek az új betét használatából származnak.

## 2. Az üreges tárcsakopás okai

Ideális esetben a féktárcsa és a betét kopási folyamatának planparallel módon kellene történnie.

Ebben az esetben a féktárcsa előzetesen adott kopási térfogata a fékezés folyamat alkalmával 100%-ban hasznosulna.

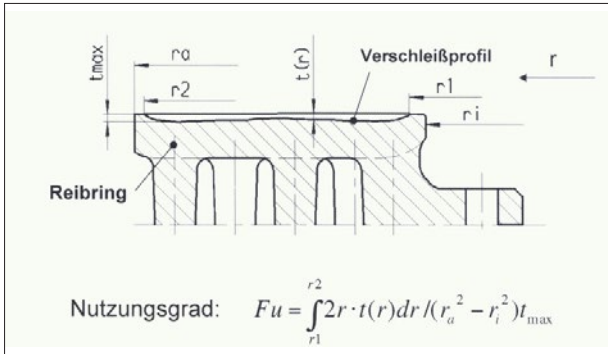
Az a körülmény, hogy a gyakorlatban ez nem így van, hanem e helyett egy homorú kopási felület jön létre, több befolyásoló tényező eredménye. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- a féktárcsa legnagyobb betétszélességének és radiális súrlódó felületének egymáshoz való viszonya /a viszonylagos betétszélesség  $bR^*$ /,
- a betét alakja („vese”, szegmens, négyszög, stb.),
- a betét hornyainak helyzete és szélessége,
- a betét és a betéttartó merevsége,
- a betét és a tartó közötti hézag a fecskefark-vezeték tartományában,
- a jármű rakottsági állapotainak a kollektívája, ha a tengely rugózásai a fékbetét és a féktárcsa között relatív elmozdulásokat eredményeznek (ez többnyire adott).

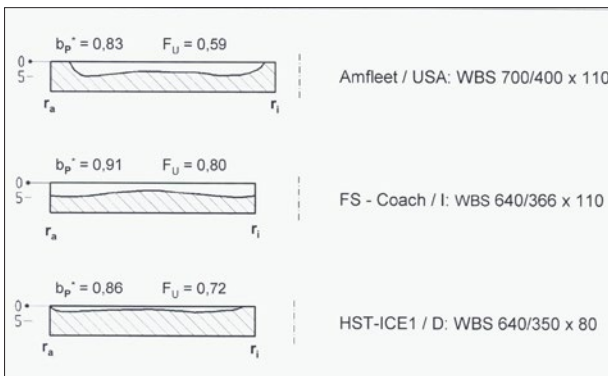
Annak érdekében, hogy a féktárcsa üreges futásának a befolyása minősíthető legyen, egy olyan ún. KN kopási tényezőt definiálunk, mely a féktárcsa által rendelkezésre bocsátott súrlódó anyag kihasználtságára vonatkozóan ad információt.

Ez a valóban lehordott kopási volumen és a rendelkezésre állt súrlódási volumen azonos kopási mélység esetén fennálló viszonyából adódik (lásd az 1. ábrát).

Két kiértékelt gyakorlati példát mutat be a 2. ábra, mely tájékoztatást nyújt az elhasználódás mértékére vonatkozóan.



1. ábra: ETR 500 szerelvény  
 Verschleißprofil = Kopási profil  
 Reibring = Súrlódógyűrű  
 Nutzungsgrad = Elhasználtsági fok



2. ábra: Valamely üregesre futott féktárcsa méretei és elhasználtsági foka  
 Verschleißprofil = Kopási profil  
 Reibring = Súrlódógyűrű  
 Nutzungsgrad = Elhasználtsági fok

Eszerint az elhasználódási tényező az 1. ábrabeli esetben, ahol a fékbetét a féktárcsa súrlódó felületének a szélét sem belül, sem pedig kívül nem érte még el (relatív betétvastagság a 2. példában  $b_{p^*} = 0,83$  KN = 0,59 a betét tárcsa peremét – legalábbis átmeneti jelleggel – KN = 0,80 esetében túllépjük) ( $R^* = 0,91$ ).

Ennek a felismerésnek az a következménye, hogy a gyakorlati üzemben a féktárcsa rendelkezésre álló kopási volumene fékezési folyamatok céljára csupán 60 – 80%-ban használható fel, miközben a kopási határérték elérésekor még 20 – 40% marad a féktárcsán vagy pedig azt síkra esztergálás segítségével kell eltávolítani.

Az, hogy itt milyen hatalmas költségcsökkentési lehetőségről van szó, akkor érzékelhető, ha meggondoljuk, hogy maga a db AG a féktárcsák beszerzésére évente mintegy 8 millió Euro-t költ.

### 3. A probléma megoldása: a KSR®-fékbetét

Beható saját vizsgálatok azt tanúsították, hogy a nem egyenletes tárcsakopásért elsősorban a következő három

tényező a felelős:

- a relatív betétszélesség (= legnagyobb betétszélesség / a féktárcsa súrlódó felületének szélessége)
- a betét alakja
- a betét hornyolása.

Olyan konvencionális fékbetétek, melyeket a normál nyomtávolságú vasúti üzemben, legnagyobbbrészt elővárosi forgalomban alkalmaznak, olyan geometriával rendelkeznek, mely az UIC-szabványnak /1/ felel meg. Azt az UIC-betétet, melyet leggyakrabban alkalmaznak, s amelynek névleges mérete 400 cm<sup>2</sup>, a 3. ábra mutatja be.

A 610 és a 640 mm átmérőjű standard féktárcsák relatív betétszélessége 0,88, és fél betétenként egy hosszanti, valamint kettő keresztirányú horonnyal rendelkeznek; ezeknek vese alakú körvonaluk van.

#### Példák UIC 400 cm<sup>2</sup> méretű betétek esetére

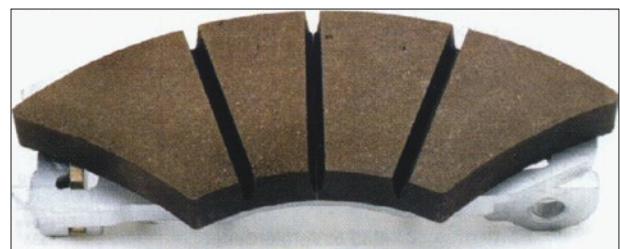
A 4. ábra az újonnan kifejlesztett KSR®-fékbetét fényképet mutatja. Ez az UIC-fékbetétől a következő jellemzők vonatkozásában különbözik:

- relatív betétszélesség  $b_{betét^*} \sim 1,0$
- körgyűrű-szektorhoz hasonló alak
- félbetétenként csak egy radiális horony.

Jóllehet a radiális betétszélességnek az UIC-betéthez viszonyított megnövelése az üreges kopás csökkentése szempontjából triviális intézkedésnek tűnik, a betét alakjának módosítása, valamint az új horony-elhelyezés olyan fizikai törvényszerűségeken alapul, melyet eddig nem ismertek vagy legalábbis nem vettek figyelembe: ez a relatív betét-ív hossz elmélete.



3. ábra: Valamely üregesre futott féktárcsa méretei és elhasználtsági foka  
 Verschleißprofil = Kopási profil  
 Reibring = Súrlódógyűrű  
 Nutzungsgrad = Elhasználtsági fok



4. ábra: WBS-tengely féktárcsák kopási profilja

Tekintettel arra, hogy ez voltaképpen a tárcsák üreges futása megszüntetésének a kulcsa, ezért ezt a következőkben kissé bővebben magyarázzuk meg:

Az irodalmi jegyzék /2/ műve szerint a betét kopása a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$V = C \cdot p^\alpha \cdot v^\beta$$

Miközben az  $\alpha$  és  $\beta$  hatványkitevők pontos ismerete alapján (azok értéke legtöbbször 0,7 és 1,3 között van), bizonyos féktárcsa méretre vonatkozóan az erőtámadási vonal olyan helyzete állapítható meg, melynek esetében elméletileg nem keletkezik ferde kopás, ennek a törvényszerűségnek a segítségével nem nyerhetőek az üreges kopással kapcsolatos ismeretek.

Itt a relatív betét-ív hossz elméletének a segítségével léphetünk tovább, melynek alapját a következő gondolati modell képezi:

Abban az esetben, ha valamely  $l_1$  hosszúságú súrlódási felületen egy  $l_2$  hosszúságú súrlódó betételem súrlódik, akkor a kopási anyag mennyisége a súrlódó felületen  $t_1$ , a betételemen pedig  $t_2$  értékű lesz.

Abban az esetben, ha most a betét hosszúságát csökkentjük, akkor azonos felületi nyomás mellett a betét  $t_2$  kopásmennyisége ugyan állandó marad, az ellenanyag kopása azonban csekélyebb lesz.

Képlet alakjában ez az összefüggés a következő alakban írható fel:

$$t^2 / t^1 = C \cdot l_1 / l_2$$

ahol a C a kopási állandó.

Ennek a megállapításnak a tárcsásfékre áttett értelmezése a következő jelentőségű: a betét és a tárcsa kopásának a viszonya a sugárra vonatkoztatva csak akkor állandó, vagy monoton növekvő, illetve csökkenő (kopási törvény!), ha a mindenkor tárcsaméretre vonatkoztatott ívhosszúság a sugártól független:

$$B_{\text{betét}}(r) / 2\pi r = \text{állandó}$$

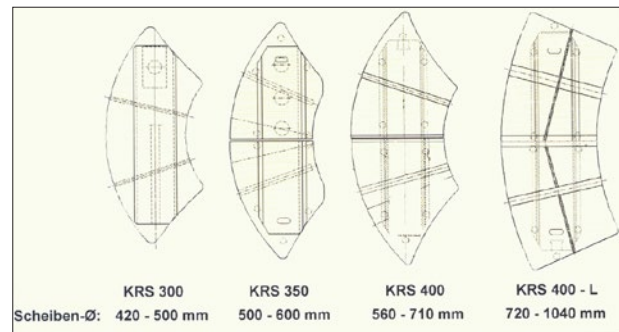
Ez a feltétel akkor teljesül, ha a fékbetét alakja egy körgyűrű szektornak megfelelő.

Fordított értelemben ennek a törvényszerűségnek az alapján a kopási kontúr tetszés szerinti betétalakra vonatkozóan előre megállapítható úgy, hogy a tényleges betétív viszonyt a súrlódófelületi sugárra vonatkoztatjuk.

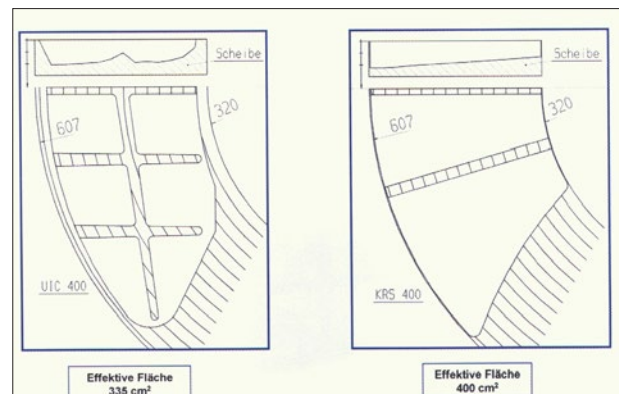
Az 5. ábra lehetővé teszi a KSR®-betét valamint a megfelelő UIC-betét összehasonlítását.

Az ábra felső részén a relatív betétív-hossz megfelelő radiális alakulása van feltüntetve.

Felismerhető, hogy az UIC-betét elméleti úton meghatározott görbéjének az alakulása jól egyezik a 2. ábra 1. példáján látható tárcsakopási profillal.



5. ábra: UIC-fékbetét (400 cm<sup>2</sup>)



6. ábra: KSR®-betétméreték

Az is megállapítható továbbá, hogy a leképzett KSR®-betétalak nem pontosan felel meg egy körgyűrű cikknek, hanem azt egy görbe vonal határolja.

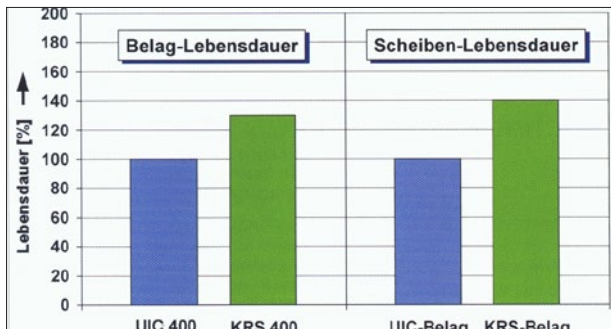
Ez a módosítás azért került végrehajtásra, hogy a betét akadálymentesen legyen a betéttartó előzetes adottságot jelentő fecskefark alakú vezetésébe beilleszthető, és ezzel egyidejűleg az UIC standard-betéttel való cserélhetőség is biztosítható legyen (a terhelés támadási vonala előzetes adottság).

Kétségtelen, hogy ezáltal a féktárcsa kopása többé nem tökéletesen planparallel módon, hanem enyhén kúposan történik, ami azonban mindaddig elfogadható, ameddig a féktárcsa súrlódó felülete belső és külső pereme közötti különbség a kopási határérték elérésekor a 2 mm határt nem haladja meg (ez a féktárcsa után esztergálásának gyakran alkalmazott kritériuma).

A 6. ábra a KSR®- és a megfelelő UIC-betétet hasonlítja össze. A felső ábrarészen a relatív betétív-hossznak hozzátartozó alakulása látható. Felismerhető, hogy a görbe elméletileg meghatározott alakulása jól megfelel a 2. ábra 1. példája tárcsakopási profiljának.

### A KSR®-betét felhasználási feltételei és méretválasztéka

A KSR®-betét előnyei csak akkor jutnak érvényre, ha a betét / féktárcsa-kombináció bizonyos peremfeltételeknek megfelel. Ezek a következők:



7. ábra: A KRS-fékbetétek által elérhető élettartam nyereség  
 Lebensdauer [%] / 7 Élettartam [%]  
 Belag-Lebensdauer = Betét élettartam  
 Scheiben-Lebensdauer = Tárcsa-élettartam  
 UIC-Belag = UIC-betét  
 KRS-Belag = KRS-betét

- a relatív betétszélesség  $bR^* \sim 1,0$
- a betétnek a féktárcsához viszonyított középhelyzete
- a tárcsaátmérőnek és a betét határoló sugarának kielégítő egyezése
- a féktárcsa sík súrlódófelületei a KSR® első alkalmazásakor.

Annak érdekében, hogy az összes féktárcsa méret a KSR®-fékbetétekkel kombinálható legyen, a 6. ábrán felsorolt KSR®-méretválaszték áll rendelkezésre. Itt minden egyes betétméret a féktárcsának bizonyos meghatározott féktárcsa átmérotartományt fed le.

Így pl. a 400 cm<sup>2</sup> méretű KSR®-betét az 560 – 710 féktárcsa átmérotartományban alkalmazható.

Miközben ez a betét a 640 mm átmérőjű tárcsához görbület szempontjából kifogástalanul illeszkedik, különböző görbületi viszonyok esetében a betét saroktartományában betét túlnyúlások keletkeznek. Ezek azonban a sztatikus és dinamikus rugózási folyamatok alkalmával nem tekinthetők kritikusoknak, amit időközben számos üzemi tapasztalat is megerősített.

Különösen felhívjuk a figyelmet arra, hogy egy hagyományos UIC-fékbetét minden olyan esetben pótolható egy KSR®-betéttel, ha a csatlakozó fékrudazati elem az UIC-betétben előírt beépítési méretnek megfelelő.

## 5. A KSR®-fékbetét előnyei és a és a referencia projektek

A fejlesztésnek azon célja, miszerint betétoptimalizálás révén a fékbetét üreges kopása megszüntethetővé válik, teljes mértékben megvalósult.

Olyan jellegzetes sajátosságai révén, mint amilyenek a környűrűcikk alakja, a nagyobb betétfelület (lásd 5. ábra), valamint a két betét-fél aszimmetrikus hornyolása együttesen a következő eredményeket hozzák:

- 20 – 40%-kal nagyobb tárcsa élettartam (lásd 7. ábra)
- mintegy 30%-kal nagyobb betét élettartam (lásd 7. ábra)
- a féktárcsát üzemi használata során nem kell után esztergálni
- a megjavult hordfelület következtében a féktárcsa kevésbé hajlamos a repedésképződésre
- a két félbetét aszimmetrikus hornyozása következményeképpen a fékezési zaj csökken (lásd 2. ábra)
- az UIC-betétekhez viszonyítva nincs fokozott nedveség-érzékenység
- az UIC-fékbetéttel való cserélhetőség a fékezési folyamat befolyásolása nélkül is adott
- ugyanazon betétanyag minőségekben szállítható, mint az UIC-fékbetétek.

Vasúti járműveken végzett részletes tesztek elvégzése után (pl. a DSB IC4 vonatai, az SJ Öresund-vonatai, DMU 158 / Scottrail, UK) a KSR®-fékbetétek időközben számos projekten kerültek alkalmazásra.

A KSR®-elv nincs a műanyagból készült fékbetétekre korlátozva.

Fém-szinter betéteket is ugyanezen elv alapján fejlesztettek ki. Erre vonatkozó példa az ISOBARR-fékbetét, mely olyan súrlódó elemekből áll, amik olyan elhelyezésűek, hogy egy környűrű szektorfelületet közelítenek meg /3/. Ez a betét fékezi a db AG ICE-3 nagysebességű vonatának futó- és hajtókerékpárjait; a vonat 1999-ben állt szolgálatba.

Jármű / Ország	Féktárcsák mennyisége	Súrlódógyűrűk anyaga	KRS-betét	Betétmínőség
DMU 158 / UK	192	GCI	400 cm <sup>2</sup>	Jurid 869
AAE 158 / UK	1144	Alu	400 cm <sup>2</sup>	Bec 928
WCML / UK	4500	GCI	400 cm <sup>2</sup>	Bec 948
Személykocsi NS / NL	564	GCI	350 cm <sup>2</sup>	BK 6792
LIRR M7 / USA	1600	GCI	400 cm <sup>2</sup>	Bec 984
KCRC / Honkong	2000	Alu	400 cm <sup>2</sup>	Bec 928
Rio Train / Svéd	256	CS	400 cm <sup>2</sup>	Bec 950-1
RSL / Svéd	320	CS	400 cm <sup>2</sup>	Bec 984
OTU / Dánia	816	GCI	400 cm <sup>2</sup>	Jurid 878
IC3 / Dánia	1500	GCI	400 cm <sup>2</sup>	BK 2000

1. táblázat. KRS tárcsásfék betétek sorozatszerűen KRS-fékbetétekkel felszerelt vasúti járművek