



KRÉMER MIKLÓS

fejlesztőmérnök
Knorr-Bremse VJT Hungary Kft
szakoktató
BME Közlekedési és Járműmérnöki Kar VHRT

Súrlódó fékek teljesítmény és élettartam korlátjai

Összefoglaló

A szerző által 2018. decemberi KTE Konferencián elhangzott előadásában szó volt többek között a „blending” vagyis a dinamikus fék kiegészítésére tervezett súrlódásos fék fogalmáról. A hőmegosztásról, az egyirányú hőáramlást figyelembe vevő modellből levonható következtetésekről. Továbbá a féktárcsák és fékbetétek egyenetlen kopása és korlátozhatóságának kérdéseiről. Eltérő súrlódó anyagokkal szerelt járművek együttes üzemének kérdésköre valamint a vizsgáló próbapadok alkalmazása is az előadása része volt.

KRÉMER, MIKLÓS
Entwicklungsingenieur
Knorr-Bremse VJT Hungary GmbH
Fachlehrer
BME Fakultät für Verkehr und Fahrzeugingenieurwesen - VHRT

Reibungsbremsen – Leistungs- und Lebensdauergrenzen

Zusammenfassung

Der Autor hat in seinem im Dezember 2018 anlässlich der KTE-Konferenz unter anderem auch den Begriff „blending”, die für die Ergänzung der elektrischen („elektrodynamischen”) Bremse entworfene Reibungsbremse, sowie die „Wärmeaufteilung” und auch die aus dem Modell für „Eindimensionale Wärmeströmung” ermittelbaren Schlussfolgerungen behandelt. Es werden Fragen wie ungleiche Abnutzung der Brems Scheiben und der Bremsbeläge sowie die Möglichkeiten für deren Begrenzung auch analysiert. Der Autor behandelt auch den Gesamtbetrieb der aus mit verschiedenen Reibungsmaterialien ausgerüsteten Fahrzeugen zusammengestellten Züge, sowie die Verwendung von Prüfständen.

MIKLÓS KRÉMER
Development engineer
Knorr-Bremse VJT Hungary Ltd.
Trainer
BME Faculty of Transportation and Vehicle Engineering VHRT

The Performance and Life Cycle Limits of Friction Brakes

Summary

The author dealt with the concept of “blending”, the friction brake designed for the addition of the dynamic brake systems, in his presentation, held on the KTE conference in 2018. He discussed also the heat distribution, the conclusions that can be deduced from the study of one direction heat flow models. He mentioned the questions of irregular wear of brake discs and brake pads and the possible wear limitations. The issue of the operation of rolling stock equipped with different friction materials, and use of test benches were also the topics of the presentation.

A vasúti tárcsafékek és a tuskós fékek a fékezés energiáját a tárcsa betét illetve a kerék tuskó párokon alakítják hővé. A folyamat során kopás, hőfáradás, egyenetlen kopás, anyag szerkezeti átalakulás kötőanyagégés, mint tönkremeneteli folyamatok működnek. A korszerű vonatoknál újabb keletű fogalom a „blending” vagyis a dinamikus fék kiegészítésére tervezett súrlódásos fék. A blending tervezés többféle szempontot vehet általában kompromisszumosan figyelembe: energia-visszanyerés maximalizálása az azonos tapadás kihasználás a kerekeken, azonos karbantartási ciklus.

Mindenesetre a vonat fékezésében résztvevő valamennyi elemnek van teljesítmény és/vagy üzemi hőmérséklet korlátja:

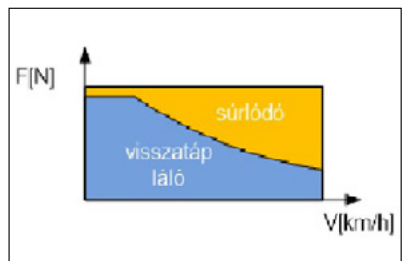
- Villamos fék – teljesítménykorlát,
- fékbetét/ műanyag tuskó- hőmérsékletkorlát (kötőanyagégés)
- Féktárcsa - teljesítmény és hőmérsékletkorlát (repedéskeletkezés)
- Kerék felület - teljesítmény és hő-

- mérsékletkorlát (repedéskeletkezés)
- Kerék tárcsa - koszorú tágulását lehetővé tevő alak korlátozó hatása (feszültség)

BLENDING

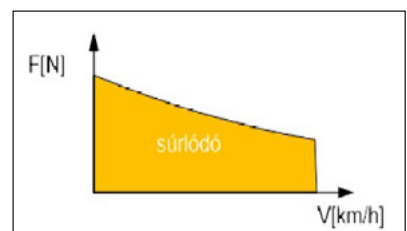
A tervezés első lépéseként a súrlódó fékekre jutó terhelést kell felmérni. Járműben gondolkodva a keréktalpi erővé konvertált fékezőerőket lehet összegezni:

Motorvonatnál a fékvezérlés alkalmas lehet visszatáplálás alkalmazására, és kiegészítésként sebességfüggő fékbetét-erő alkalmazására.

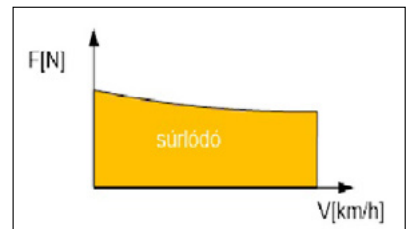


1. ábra.: Blending (fékerő megoszlás) tipikus esete.

Egy önálló kocsinál elfogadjuk, hogy a lassító erő a tuskó/kerék sebességfüggő súrlódási tényezője miatt sebességfüggő lesz:



Az öntöttvas tuskóra jellemző erősebb sebességfüggés



A műanyag tuskóra jellemző enyhébb sebességfüggés

2. ábra.: Állandó fékhengernyomásnál a keréktalpi lassítóerő a kerék-tuskó súrlódási tényezőének sebességfüggését örökli.

HŐMEGOSZTÁS

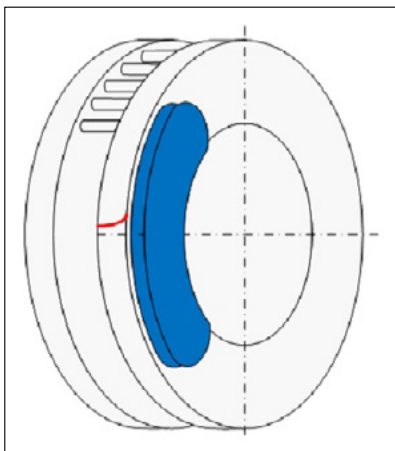
A súrlódó elemek termikus vizsgálata, mind a hőfeszültségek, mind a kopásintenzitás figyelembe vehetőége szempontjából fontos.

A disszipált hő a súrlódó párok mindkét elemébe áramlik, és onnan jut tovább a környezetbe. A környezetbe jutást gyorsítja a féktárcsák belső oldali hűtőbordázata, de a hőkapacitásnak is jelentősége van, hiszen egy vészfékezéses megállás energiája nagyrészt rövidtávon tárolásra kerül a tárcsában, kerékben.

A hőmegosztás szempontjából az öntöttvas tuskó egyik előnye a jelentős arányú hő felvétel és ezzel egyidejűleg a kerék kímélése. A műanyag fékbetétek és tuskók a fékezési energia kis részét veszik fel. Tárcsás féknél ez nem probléma, hiszen a tárcsa tervezésénél ez figyelembe vett tény, a tuskós fék műanyag tuskora történő átállítása azonban a kerekek fokozott hőterhelését eredményezheti.

EGYIRÁNYÚ HŐÁRAMLÁST FIGYELEMBE VEVŐ MODELLBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Féktárcsánál a forgást figyelembe véve a teljes betét által súrolt homloklételet tekinthetjük hőforrásnak és a hő részben itt közvetlenül, részben a tárcsa tömör súrlódó részén áthaladva a középső bordás hűtőfelületen adó-



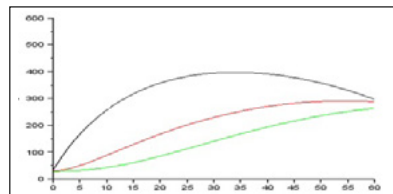
3. ábra.: Pillanatnyi hőmérséklet-eloszlás a tárcsában egydimenziós hőáramlást feltételezve

dik le. Ezen ideális feltételezéssel a tárcsa egyes szeleteiben azonos hőmérsékletet feltételezhetünk.

A hőmérséklet tárcsa tömör részében csak befelé haladva változik.

A hőmérséklet-eloszlás a tárcsában természetesen pillanatról pillanatra változik.

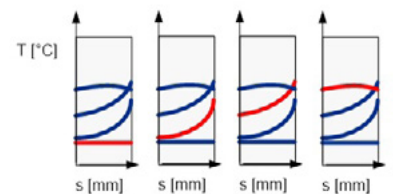
Megállító fékezést tekintve a fékterjesztmény ($F \cdot v$) a fékezés elején a legnagyobb megállás pillanatában csökken 0-ra, optimális állandó lassulásnál lineárisan. Lineáris hőátadás és sebességfüggő hőleadás figyelembevételével a tárcsa alkalmasan választott rétegeiben a hőmérséklet időfüggvények közelítései számíthatók.



4. ábra.: A féktárcsa külső (fekete), középső (piros) és belső(zöld) szeletében ideális megállító fékezés esetére számított hőmérsékletek.

A maximális hőmérsékletértékek a fékbetét használhatóságára már iránymutatót adnak. A fékbetétre jellemző hőmérsékletig általában állandó g/J kopással lehet számolni, de felette ez progresszív növekedésnek indul.

Ezen egyszerűsített modell alkalmas továbbá a tárcsa pillanatonként változó



5. ábra.: A hőmérséklet-eloszlás a tárcsában (kb.:20mm-es vastagságán) a fékezés kezdetén köztes időpontokban és a fékezés végén(balról jobbra).A piros vonal az aktuális időpontra vonatkozó érték, a Fekete vonalak csak az összehasonlítást szolgálják.

hőmérsékleteinek és azzal egyidejűleg hőfeszültségeinek a számítására is.

Fokozott terhelés esetén a hidegebb belső részek gátló hatása az alakíthatóság hőmérsékletére hevült és tágulni igyekvő külső réteg zömülését eredményezi. A hűlés utáni húzó



6. ábra.: Túlzott hőfeszültség okozta felszíni repedések a féktárcsán, keréken [1]

feszültségek felszíni hajszálrepedések kialakulását eredményezheti. A ciklikusság pedig a fárasztó jelleggel terheli a külső anyagréteget.

Kedvező esetben csak a széleket nem megközelítő felületi hajszálrepedések keletkeznek és a külső réteg koptatása egyensúlyban tartja, a hajszálrepedéseket indikáló folyamatot. A tárcsaanyagok fátadásállósága, és húzófeszültség-állósága a disszipálható fékterjesztményt is meghatározza.

Ökölszabályként [2] az egyszerűbben önthető lemezgrafitos öntöttvas tárcsa a szokásos fékkialakítás mellett 200km/h sebességhatárig alkalmazható organikus kötőanyagú kompozit (műanyag) fékbetéttel.

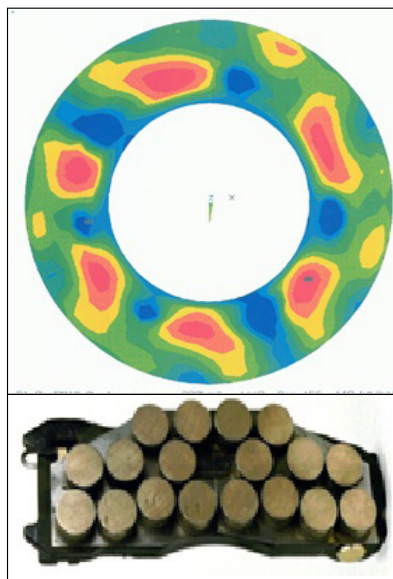
A gömbrgrafitos/csomógrafitos öntöttvas 250km/h-ig. Ennél nagyobb sebességre általában a bonyolultabban drágán önthető acél féktárcsa alkalmas. Az acél tárcsák magasabb hőmérsékletre alkalmas szinter fékbetétekkel is megfelelőek.

**A 3D HŐMÉRSÉKLET-
ELOSZLÁST FIGYELEMBE VEVŐ
FINOMÍTOTT MODELL**

Növekvő fékteljesítmény esetén egyre jellemzőbbé válik a tárcsa felületén meleg foltok kialakulása. A tárcsa homlokfelületén keletkező meleg foltokat csak 3D modellel kezelhetjük. A vándorló meleg foltok az előbb említett feszültségeket tovább növelik. Egyszerűsítésként termo kamerás mérésekre támaszkodva a betétanyag rugalmassági, hővezetési tulajdonságától függő hőmérséklet-inhomogenitás faktorral lehet figyelembe venni ezt a hőterhelést növelő hatást.

A meleg foltok vándorlásának fő oka az úgynevezett termo elasztikus instabilitás folyamata. A fékbetét felületén súrlódás közben megzavart nagyobb nyomású felszíni pont fokozott melegedése, és a hőtágulása miatt egy ideig tovább növekszik itt a nyomás, majd a fokozottan meleg felszín intenzívebb kopása ellentétes irányú félciklust eredményez. A súrlódó anyagok elemi felületének sebesség, hőmérséklet, nyomásfüggő súrlódási, és kopási függvényének felvétele a BME VRHT tanszéken kutatási téma[3]. Ez képezheti az alapját a termo elasztikus instabilitást figyelembe vevő finomított 3D modellezésnek.

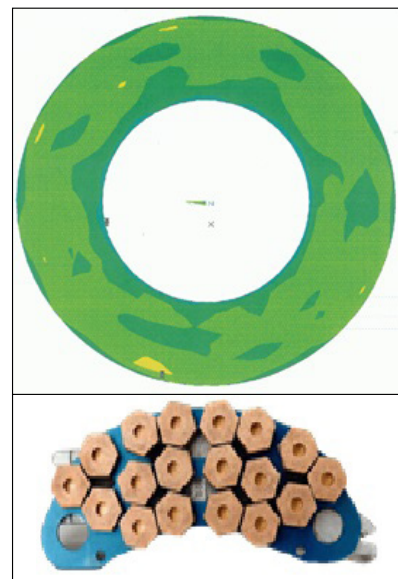
A meleg foltok intenzitása nyomáskiegyenlítéssel nagymértékben korlátozható. Nagyobb tárcsa hőterhelésnél is minimalizálható a hőfoltok intenzitása és az additív feszültségnövelő/fárasztó hatás.



Szabványos UIC merev szinter betét használatakor kialakult felszíni hőmérsékleti mező

**A FÉKTÁRCSÁK ÉS FÉKBETÉTEK
EGYENETLEN KOPÁSA ÉS
KORLÁTOZHATÓSÁGA**

Az UIC kompozit fékbetétekkel üzemeltetett járműveknél a féktár-

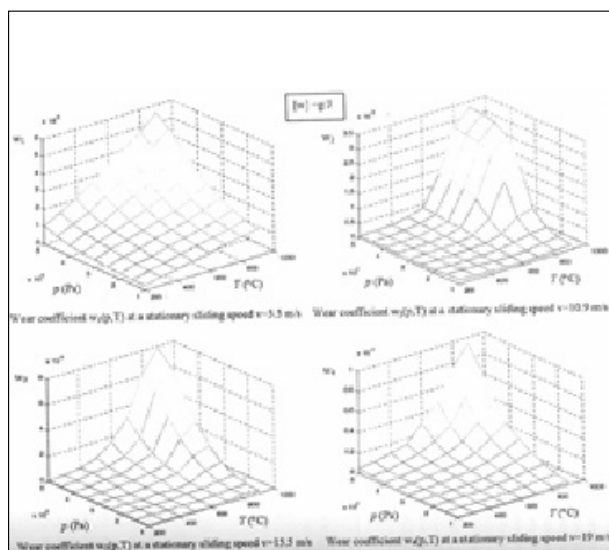
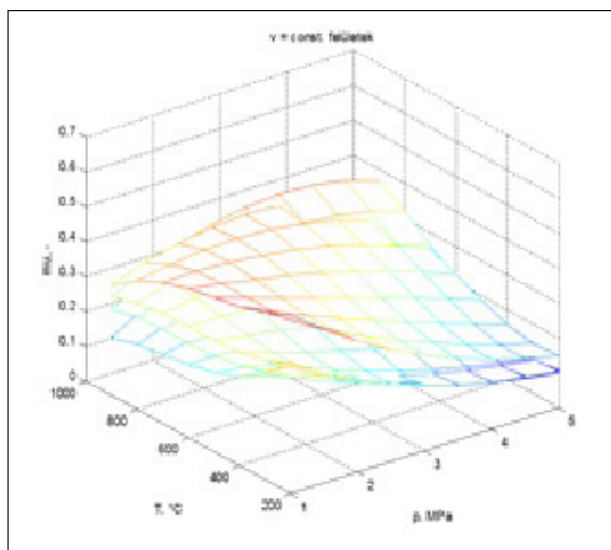


Nyomáskiegyenlített Knorr-Bremse ISOBAR®szinter betét használatakor kialakult felszíni hőmérsékleti mező

8. ábra.: A tárcsa egyenetlesebb felszíni hőmérsékletének elérése [2]

Nagysebességű vonatokon egyeduralgódóvá válik a Knorr-Bremse ISOBAR® szinter fékbetétje. A szinter elemek felületi nyomását mechanizmus egyenlíti ki.

csak jellegzetesen hullámosra kopnak. A féktárcsák szabályozását 2mm mély hullámnál írják elő, ez jelentős anyagvesztéssel eredményez, az elkopott tárcsa cseréje pedig költséges karbantartási esemény. Egyenetlesebb tárcsakopás érhető el KRS



7. ábra.: Elemi súrlódó felületének sebesség, hőmérséklet, nyomásfüggő súrlódási, és kopási függvényei (P10anyag) [3]

fékbetét-alak alkalmazása esetén. [2] A betét középhelyzetben túlnyúlik a tárcsán, tangenciális hornya nincs.

Kisebb a tárcsakopás a szaggatott vonalú körök környezetében az UIC betét szélességi mérete és hornyolása miatt Egyenletesebb tárcsakopás KRS fékbetét-alak alkalmazása esetén.

A betét középhelyzetben túlnyúlik a tárcsán, tangenciális hornya nincs

Fékbetétek ékes kopását a betét-tartóra ható koncentrált erő optimális sugárirányú elhelyezésével tervezzük elérni átlagos hőterhelésre. Az optimális geometria azonban eltérő hőterhelések esetén, a betétanyag hőmérsékletfüggő kopási állandója miatt, nem mindig biztosítja az egyenletes kopást. Az ékes kopás elkerülésére szokás párhuzamosító mechanizmust alkalmazni a kaliperen.

ELTÉRŐ SÚRLÓDÓ ANYAGOKKAL SZERELT JÁRMŰVEK EGYÜTTES ÜZEMÉNEK KÉRDÉSKÖRE

Az öntöttvas tuskós járművekből álló vonat fékezésében gyakorlott mozdonyvezetőket eleinte megtérfálta a tárcsafékes szerelvénnyel. A szerelvénnyel lassulása nagyobb sebességről keményebben indult, viszont elmaradt a csökkenő sebességnél jelentkező erősödés. Nagyobb sebességű tárcsafékes járműveknél, a kétlépcsős fékezés éppen ellentétes erőlépcsőt alkalmaz, mint amit az öntöttvas tuskósfékes „Gy” (R) állásnál megszoktunk.

Tuskós fékes vonatoknál öntöttvas és műanyagtuskó együttes alkalmazásakor a fékezés kezdetén a nagy sebesség miatt a legnagyobb a fékterhelés. A nagyobb fékterhelés időszakájában a műanyagtuskós járművek nagyobb részt vállalhatnak a fékezési energiából. Ez annál is inkább problémát jelenthet, mert a kedvezőtlenebb hőmegosztás miatt amúgy is nagyobb energiahányad megy a kerékbe összehasonlítva az öntöttvas tuskós járművekkel. Ennek tükrében érthető az UIC javaslata a fékezés kezdetén jelentkező hőterhelés-csúcs elnyújtására.

Vizsgáló próbapadok a súrlódó párok megfelelésség-értékelésére

Az UIC 548 egységes követelményeket ír elő a fékbetétek, féktuskók tanúsítására. A Knorr-Bremse próbapadjai tanúsítottak. Tanúsítás nélküli próbapadok is alkalmasak összehasonlító vizsgálatokhoz, beszállító értékeléshez. Itt hívnam fel a figyelmet a BME MG laborjában jelenleg üzemben kívüli nagy tengelyterhelést szimuláló bár korlátozott sebességre (160km/h) alkalmas próbapadjára

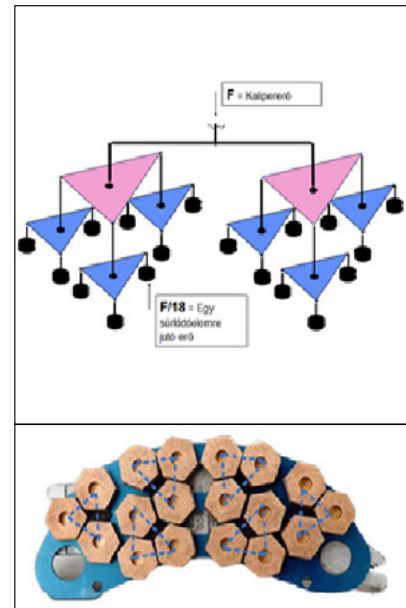
Összegző megállapítások

Korszerű járművek fékezésében a súrlódó fékek terhelése a dinamikus fékkel összhangban vezérelt.

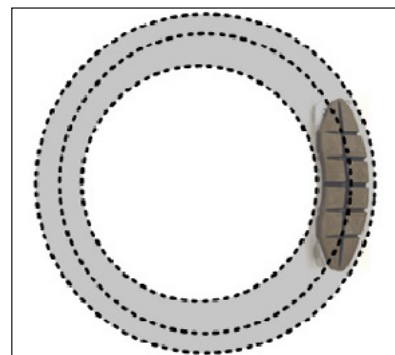
A súrlódó fékek élettartamát optimálisan használhatjuk ki, ha olyan hőterhelésre méretezzük, hogy a felületi fárasztó folyamatok, a természetes kopásnál kisebb előrehaladásúak legyenek.

A száraz súrlódás kísérleti értékelése nem nélkülözhető, a 3D model-

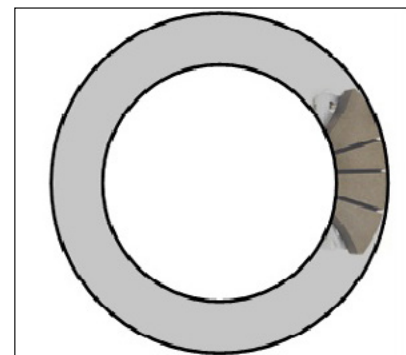
lezéshez az elemi felület anyagfüggő súrlódási-, és kopási tényezőjének ismerete szükséges.



9. ábra.: Az ISOBAR® nyomáskiegyenlítő mechanizmus elve, és megvalósulása (kék háromszögek jelölik az összetartozó szinter elemeket)[2]

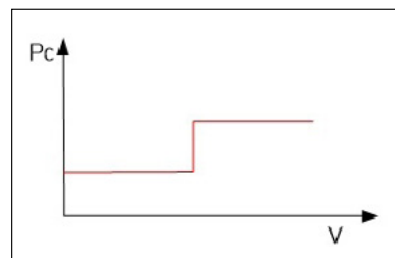


Kisebb a tárcsakopás a szaggatott vonalú körök környezetében az UIC betét szélességi mérete és hornyolása miatt

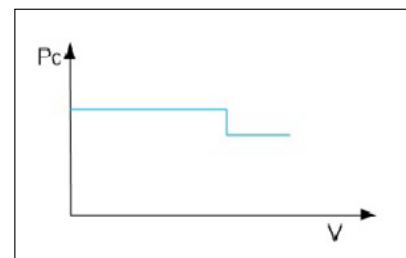


Egyenletesebb tárcsakopás KRS fékbetét-alak alkalmazása esetén. A betét középhelyzetben túlnyúlik a tárcsán, tangenciális hornya nincs

10. ábra.: Fékbetét alak és hornyolás befolyásolja a tárcsafelszín kopásának egyenletességét

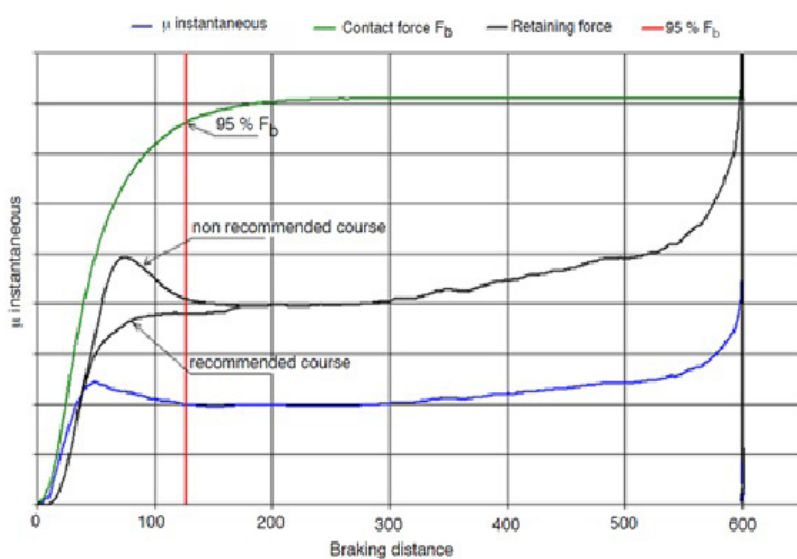


A fékhengernyomás sebességfüggése öntöttvas tuskós fékes „Gy” (R) állásnál

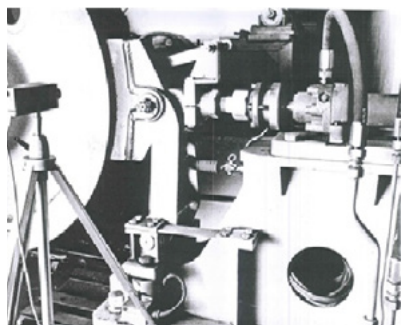


A fékhengernyomás sebességfüggése nagy terhelésű tárcsaféknél

11. ábra.: Eltérő sebességfüggő tuskó/betéterő igény öntöttvas tuskós fék és kompozit súrlódó anyag esetén



12. ábra.: Kerülendő, és javasolt keréktalpi fékezőerő felfutás.[4]



Vasúti fék próbapadok: BME VRHT



Knorr-Bremse próbapad

13. ábra.: Vizsgálópadra szerelt fékezés vizsgálatra előkészített kerék illetve féktárcsa

NAGY VONATGYAKORISÁGÚ KÖZLEKEDÉS A HOLLAND ÜZEMELTETÉSI TERVBEN

A kilenc nagy holland várost 2040 évre 10 percenként induló és érkező vonattal tervezik összekötni, jelentette be február hatodikán az infrastruktúra minisztériumi államtitkár, Van Veldoven.

A tömegközlekedés jövőbeni víziója 2040. évig tartó tervét nagy vonatgyakoriságú intercity vonat bevezetésével 2017.évben az Amszterdam – Utrecht – Eindhoven vonalon kezdték meg.

2040-ig a nagy vonatgyakoriságú vonalhálózat körül veszi a Randstad város csoportot, ez az úgy nevezett „ring” mely magában foglalja Amszterdamot, Hágát, Rotterdambot, Utrechtet, valamint Zwolle-t, Arnhemet, Nijmegen, Eindhoven, és Bredat.

A kormány kijelentette a tervet annak ismeretében fejlesztették ki, hogy figyelembe vették azt az előre jelzést, miszerint a következő 20 évben a városok közötti tömegközlekedési igény 20-40 százalékkal nőni fog.

A ring nagysebességű hálózatán lévő nyolc legna-

Az egyenetlen kopás miatti anyagvesztés mind tárcsánál, mind fékbetétnél korlátozható.

Különböző sebességfüggésű súrlódó anyagok együttes üzeme esetén a hőmérsékletcsúcsok különbségére kell számítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EN15313 Railway applications - In-service wheelset operation requirements - In-service and off-vehicle wheelset maintenance
- [2] Knorr-Bremse: Showroom presentation
- [3] Sábicz, L.; Zobory, I.: Measurement on sliding friction coefficient and wear coefficient of cast iron brake block material P10 contacting with a steel wheel jacket, Proceeding of the 10th. International conference on railway bogies and running gear 2016 p. 347-356
- [4] Az UIC 541-4 Bremse - Bremsen mit Bremsklotzsohlen aus Verbundstoff - Allgemeine Bedingungen für die Zertifizierung von Verbundstoffbremsklotz-sohlen
- [5] UIC 548:Braking – Requirements of friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocks
- [6] Zobory, I.: Járműdinamika és hajtástechnika 1. rész

gyobb állomást integrált, más tömegközlekedési móddal közös csomópontként kívánják kialakítani.

A tervet a Prorail infrastruktúra menedzsere üdvözölte, bár ő kijelentette jobb lenne, ha a nagy vonatgyakoriságú „ringet” 2030. évre alakítanák ki, tekintettel arra, hogy a következő 10 évre, a vasúti és a közúti forgalmi előjelzések szerinti dinamikus növekedésre kell számítani.

NAGYSEBESSÉGŰ VONAL NÉMETORSZÁG FELÉ?

Van Veldhoven kijelentette, a vasútnak világos opciójának kell lennie 2040. évre, a szomszédos országokba való utazás tekintetében. Ezen belül a kormány szeretné németországi vasúti összeköttetését fejleszteni. Rotterdamból Párizs központjában vagy 3 óra alatt, mondta Van Veldhoven, de ami hiányzik az a magas színvonalú vasúti összeköttetés a legfontosabb kereskedelmi partnerünkkel.

Az államtitkár kijelentette tanulmányozni kívánja, hogyan lehet Randstad város csoportot összekötni Németország nagysebességű hálózatával, és tervezi az új EU közlekedési főbiztossal még ebben az évben ezt megtárgyalni.