

Gumirugó optimalizálása

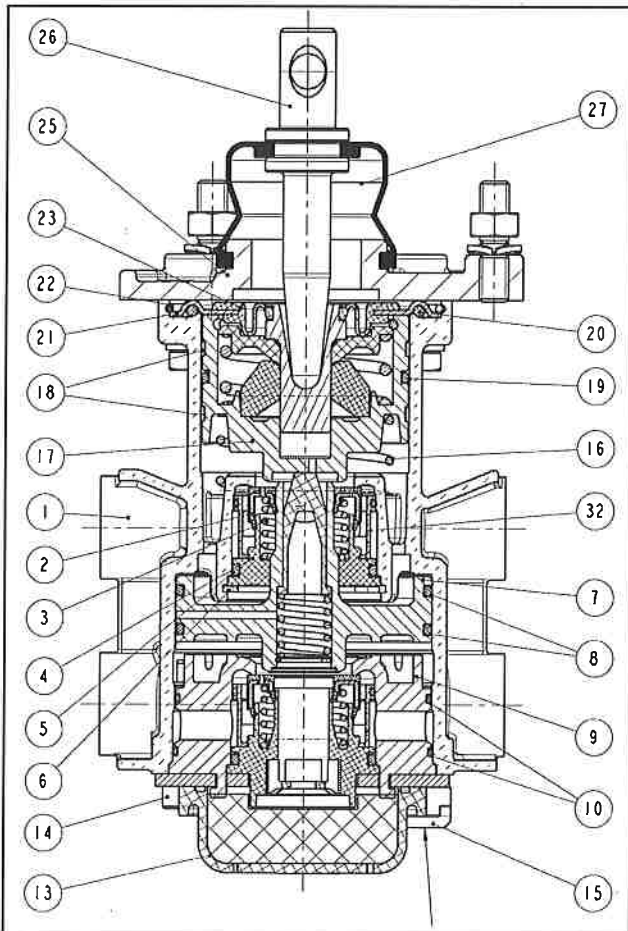
Tóth László¹– Balogh Zsolt¹– Voith András²– Rózsahegyi Péter¹

Bevezetés

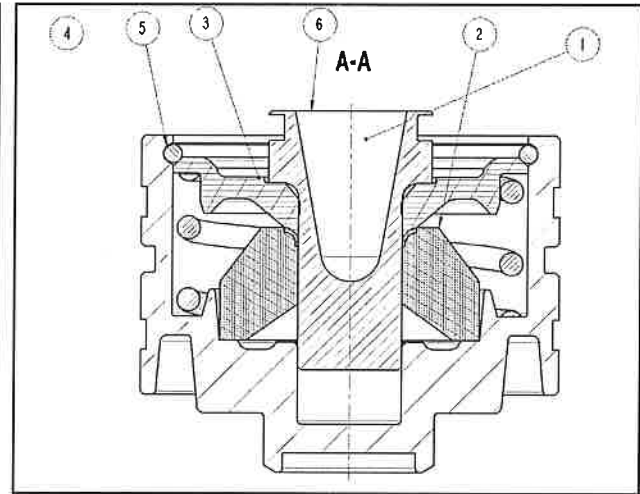
Ma már egyre több speciális probléma modellezését tudjuk nagy biztonsággal végelelem-módszer segítségével megoldani. Példa rá ez a cikk is, ahol pneumatikus lábfék szelep gumirugóinak modellezése volt a feladat. Elsőként egy meglévő konstrukciót modelleztük, ahol adott geometria és mért erő-elmozdulás karakterisztika alapján meg kellett határozni a gumirugó anyagegyenletének paramétereit és a fellépő sűrűségi tényezőt inverz módszerrel. Másodszor egy fejlesztés alatt álló lábfék szelep gumirugó optimalizálása volt a cél, egy megadott erő-elmozdulás karakterisztika elérése érdekében kellett a geometriát változtatni.

Kiindulási adatok

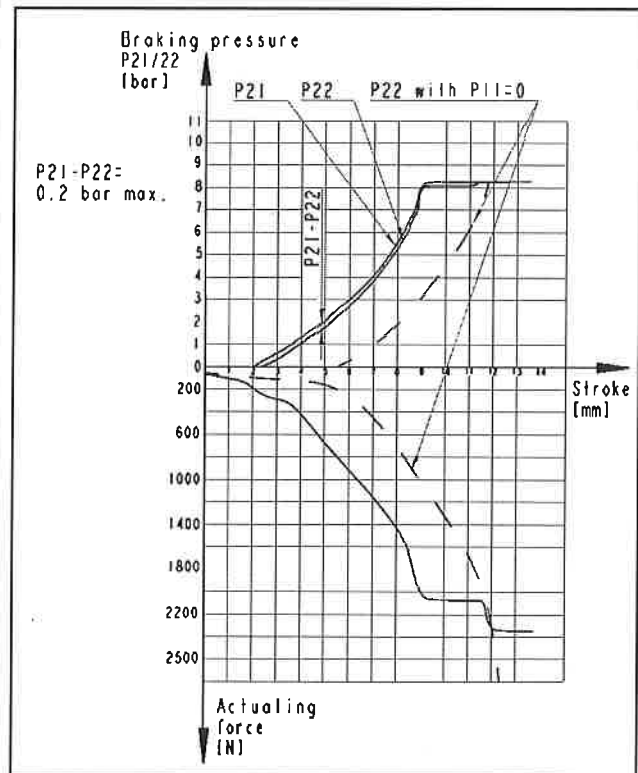
A pneumatikus fékrendszerekben a lábfék szelep a pedálemozdulással nyomást vezérel, amely nyomás a kerékfék szerkezetet működteti. A pedálemozdulást egy rugalmas egység – acélrugó, gumirugó vagy ezek kombinációja – közvetíti a vezérlő dugattyúra. A rugó-kombináció megfelelő megválasztása biztosítja az üzemi fékezés tartományában a fékerő érzékeny szabályozását. Ugyanakkor – az ún. vészfékezés gyors végrehajtása érdekében – a kezdeti lágy karakterisztika után a rugó jelleggörbéje erősen progresszív válik. A progresszivitást a vezetési szokásokhoz és a jármű jellegéhez kell igazítani. Ezt a feladatot hgyo-



1. ábra. A vizsgált lábfék szelep metszeti rajza



2. ábra. A vizsgált lábfék szelep rugótányérjának alkatrészrajza



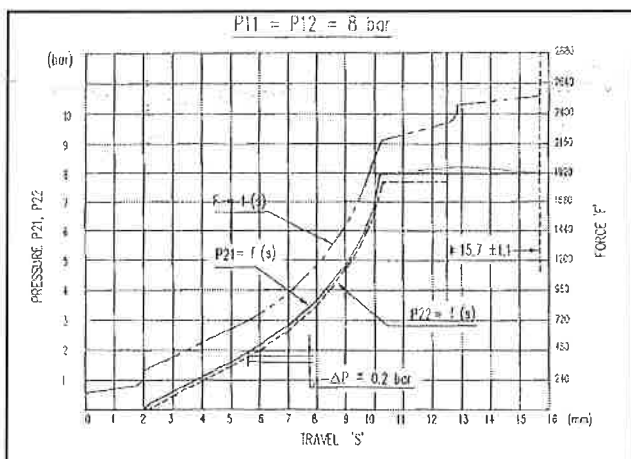
3. ábra. A vizsgált lábfék szelep erő-elmozdulás diagramja

mányosan a közelítő számítások után több lépcsős kísérlettel kellett elvégezni. A szimulációs számítás pontosabb elvégzése jelentősen le- rövidíti a fejlesztési időt és csökkenti a költségeket.

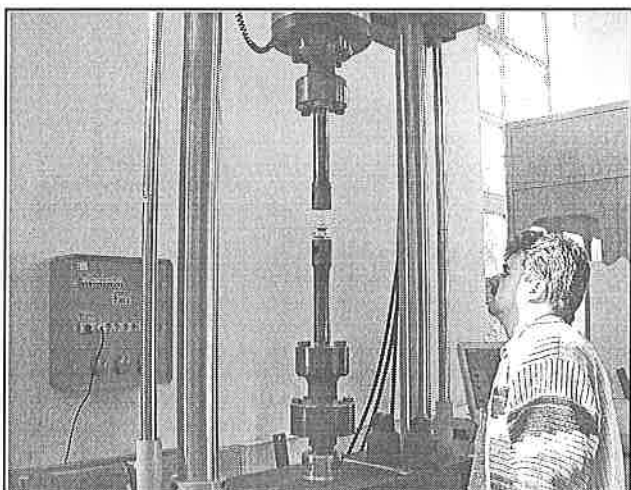
A következő ábrákon a modellezendő lábfék szelep metszeti rajzát láthatjuk (1. ábra), ahol a 17-es elem határozza meg a rugó karakterisztikát. Ezt az elemet kinyitva láthatjuk a következő ábrán (2. ábra), ahol a dugattyúba (4) épített gumirugó (2) és acélrugó (5) feszíti elő a rugótányért (3), valamint a működés közben – a (6) közvetítésével – ezen elemek összenyomódása eredményezi a fékerő szabályozását.

Ezen adatok alapján készítettük el az első végelelem-modellt, a számítások eredményét összehasonlítva a 3. ábrával, kvázi inverz mód-

¹A Bay-Logi Intézet munkatársai, ²a Knorr-Bremse munkatársa



4. ábra. A fejlesztendő lábfékszelep erő-elmozdulás diagramja

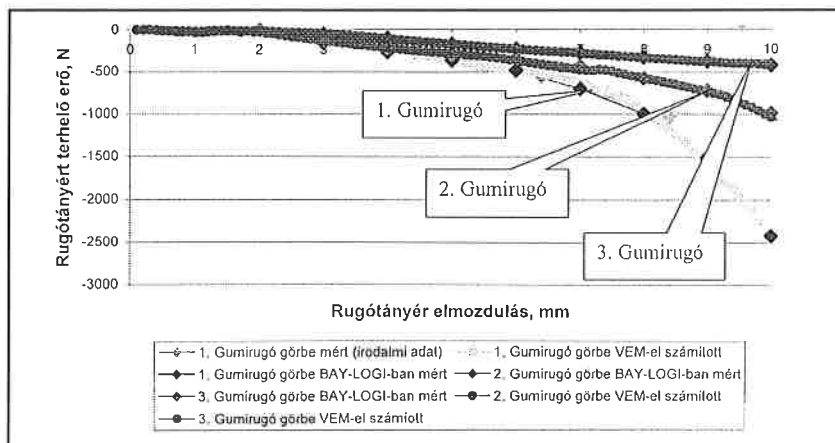


5. ábra. A gumirugó mérése a Bay-Logi-ban

szerezni határoztuk meg a gumirugó anyagegyenletét. Majd következő lépésként geometria változtatással előállítottuk a fejlesztés alatt álló lábfékszelep elvárt erő-elmozdulás diagramját (4. ábra) úgy, hogy változtattuk a rugótányér, a dugattyú gumirugóval érintkező felületét, valamint változtattuk a gumirugót és a mellette beszerelésre kerülő acélrugó paramétereit. A vizsgálatok során három különböző, már gyártásban levő gumirugót vizsgáltunk, változtatva a befogási feltételeket.

Mérések a gumirugóval

A végeelem-számítások ellenőrzéséhez és a gumi anyagparamé-



6. ábra. A három gumirugó mért és számított erő-elmozdulás diagramja

tereinek a meghatározásához szükséges volt ellenőrző méréseket végezni három, különböző gumirugóval.

Ezeket a méréseket a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet laborjában rendelkezésre álló Instron 8500 típusú szakítógéppel végeztük. Egy, a mérés közben készült felvétele láthatunk az 5. ábrán.

A 6. ábrán látható a három gumirugó mért és számított erő-elmozdulás diagramja. Látható, hogy a görbék az anyagparaméterek illesztése után jó egyezést mutatnak. Az 1. számú gumirugóra két mérési adatsor is látható, az egyik egy irodalmi adat, a másik a Bay-Logi mérése, de e két mérés is jó egyezést mutat.

A gumirugó optimalizálása végeelem-modell segítségével

Első lépésként felépítettünk egy kétdimenziós, tengelyszimmetrikus végeelem-modellt, amelyen kontaktfelületek segítségével nyomtuk össze a gumirugót. A kontaktgeometriákat a nyomólap és dugattyú geometriája határozta meg. A 7. ábra a kiinduló adatokból felépített végeelem modellt mutatja.

A modell segítségével meg tudtuk határozni a gumi anyagegyenletét kvázi inverz módszerrel. Az anyagegyenletnél a Mooney-Rivlin-modellt használtuk, ahol az anyagmodell paramétereit a rugalmassági modulus-sal (E) az alábbi módon határozhatjuk meg:

$$C_{10} = 0,8 \cdot E \text{ és } C_{01} = 0,2 \cdot E$$

Számítással a kiinduló gumirugó anyagparamétereire a következő értékeket kaptuk:

$$C_{10} = 0,96 \text{ (MPa)} \text{ és } C_{01} = 0,2 \text{ (MPa)}$$

A 8. ábrán három mért és két számított karakterisztika található. A gumirugó karakterisztikáját a Knorr-Bremse-nél (1), illetve a Bay-Logiban (2) mért és a végeelem-moddellel számított (3) görbe szemlélteti. Míg a teljes – a gumirugón kívül a beszerelt acélrugó feszítőerejével növelt – fékszelep karakterisztikáját a (4) jelű mért, illetve a végeelem-moddellel számított (5) görbe jellemzi. Látható a mért és a számított értékek kiváló egyezése is.

Az első futtatásból és anyagparaméter illesztésből meghatározható volt a gumirugó karakterisztikája és a teljes fékszelep karakterisztika közötti eltérés, ami egy harmadfokú függvénnyel írható le. A harmadfokú függvény lineáris összetevője egy acélrugó, mely a gumirugóval együtt kerül beépítésre a fékszelepbe.

Az acélrugó paraméteri:
rugómerevség: 5,398 N/mm,
előfeszítés: 184,5 N.

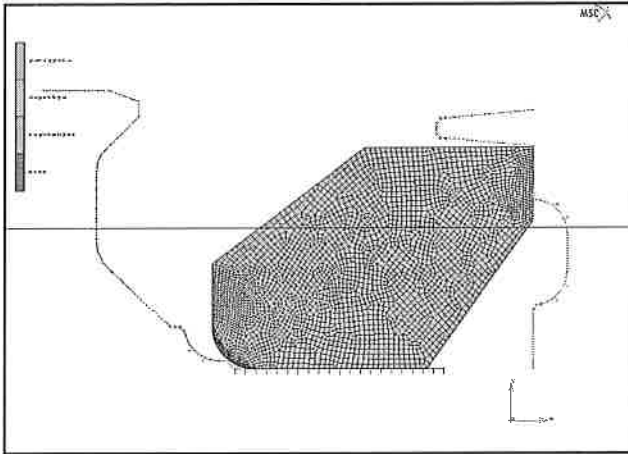
Az eddigi eredményekre alapozva meg tudunk határozni olyan geometriákat és gumirugó anyagot, amelynek karakterisztikája megfelel a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikájának.

A 9. ábrán a kiinduló és a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikáit láthatjuk. A két görbe 5 mm-es dugattyú elmozdulás értékénél metszi egymást, tehát alatta keményíteni kell, felette gyengíteni kell a fékszelep karakterisztikát a kiindulóhoz képest.

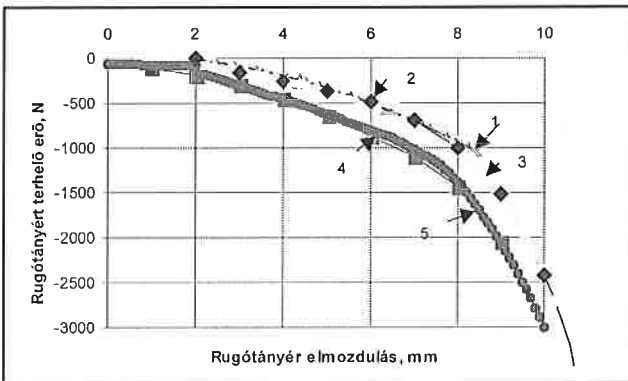
A végleges megoldást a 3. számú gumirugóval, a 13. ábrán látható geometriájú dugattyúval, valamint nagyobb előfeszítésű acélrugóval tudtuk elérni. A nyomólap geometriáján nem kellett változtatni, vagyis az új fékszelepben is a 2. ábrán látható rugótányér kell alkalmazni.

Az acélrugó szükséges paramétereit (a rugó kiválasztó programmal ellenőrizve):
rugómerevség: 4,79 N/mm,
előfeszítés: 300 N.

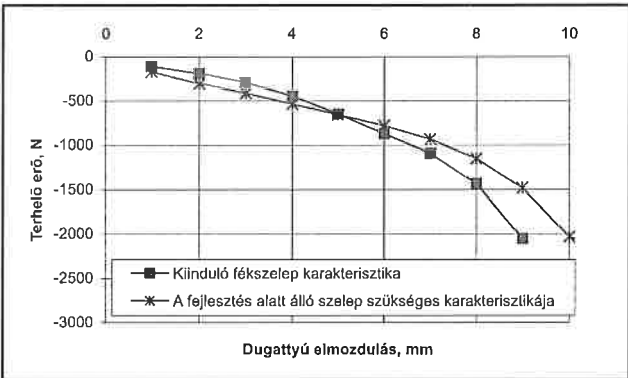
A 10. ábrán láthatjuk az elért kívánt karakterisztikát és az optimalizált geometriával számított végeelem-modelljezési eredményt. A számított karakterisztika jó egyezést mutat az elmozdulás teljes tartományán, tehát elfogadható az eredmény. A 11. ábrán az optimalizált geometriájú végeelem-modellt láthatjuk, a 12. ábrán pedig 10 mm-rel összenyomott állapotban.



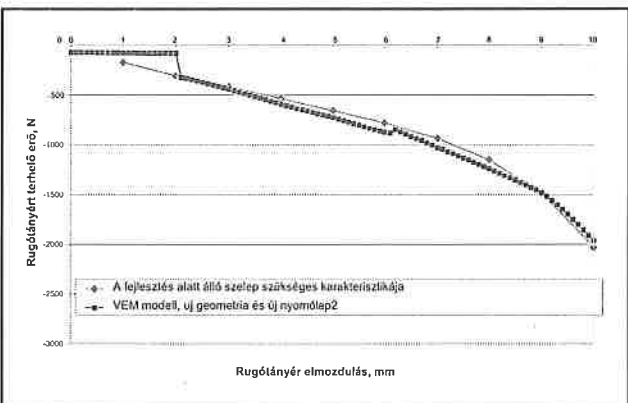
7. ábra. A kiinduló geometria alapján épített VEM modell



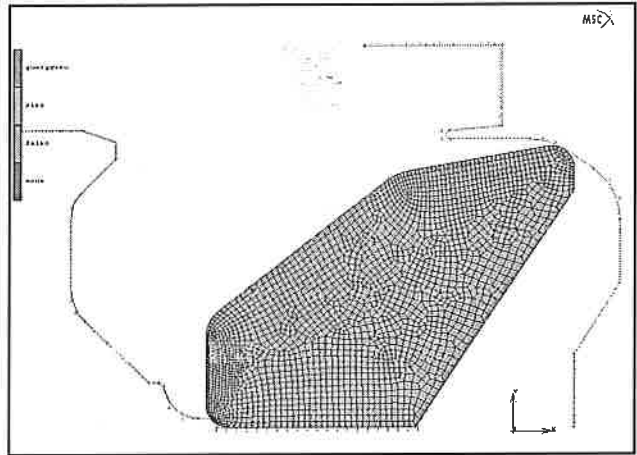
8. ábra A kiinduló gumirugó geometria mért és modellezett eredményeinek összehasonlítása



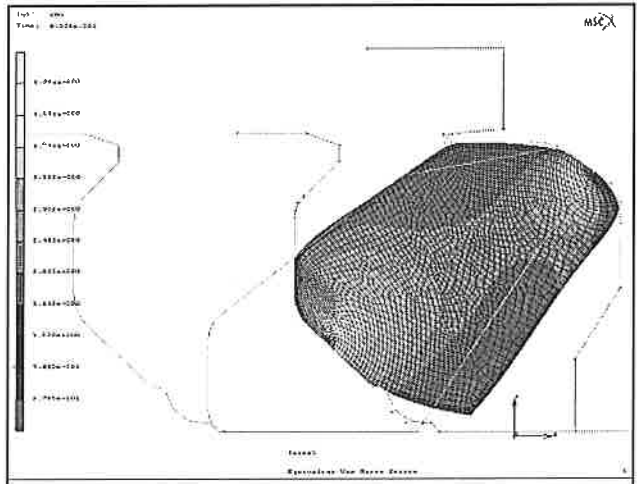
9. ábra. A kiinduló és a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikái



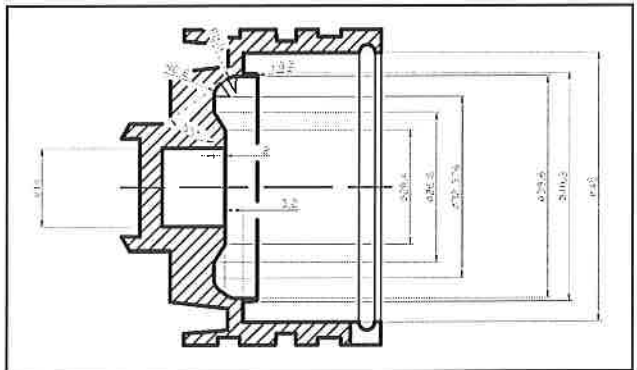
10. ábra. A fejlesztés alatt álló fékszelep szükséges karakterisztikája és az optimalizált geometriájú VEM modell karakterisztikája



11. ábra. A végleges geometriájú végelem-modell



12. ábra. A végleges geometriájú végelem-modell (10 mm-rel összenyomott állapotban)



13. ábra. A dugattyú gumirugóval érintkező felülete a változott méretekkel

Összefoglalás

Az elvégzett végelem-modellezések és analízisek alapján megállapíthatjuk:

A végelem-módszer alkalmazható a lábfékszelep gumirugójának mechanikai terhelés alatti viselkedésének modellezésére.

Az elvégzett végelem-számítások és mérések segítségével meghatározottuk azt a gumirugó és befogási geometriát, amely megfelel a járműgyártó által igényelt és definiált karakterisztikának: A kívánt erő-elmozdulás görbe megvalósítható a változtatott dugattyú geometriával, valamint a 3. számú gumirugóval és keményebb acélrugó alkalmazásával.