

# A SZÁLLÍTÓSZALAG GUMIHEVEDEREK FESZÜLTSEGI ÉS ALAKVÁLTOZÁSI ÁLLAPOTA

PÓSFALVI Ödön

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar  
Mechanika Tanszék

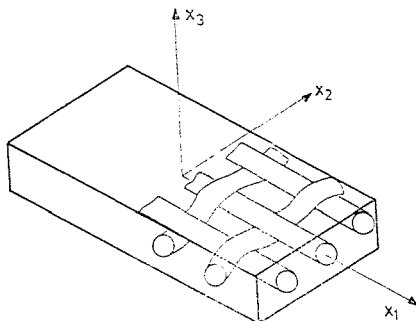
## Bevezetés

Az ömlesztett anyagok, a darabáruk és a személyek mozgatására egyaránt alkalmas anyagmozgató gépek közül a gumihevederes szállítószalag egyike a legelterjedtebbeknek. Egyik speciális gépelemét, a hevedert, korddal erősített gumiból állítják elő.

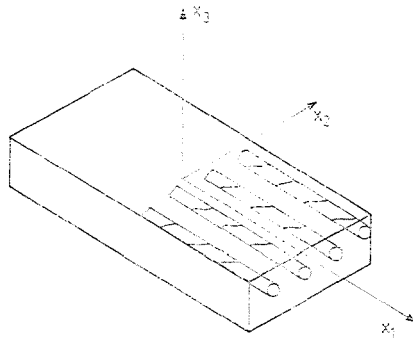
Az alábbiakban a gumihevederek szerkezetének és rugalmas viselkedésének kapcsolatát az ágyazóanyag és az erősítés kölcsönhatása alapján elemezzük. Felsoroljuk a terhek hatására ébredő mechanikai igénybevételeket és bemutatjuk a hevederek kontinuum anyagmodelljeit. Valamennyi vizsgálatunkat a gumi és az erősítés kapcsolatára alapozzuk a kordszövet mechanikai irányító szerepének figyelembevételével.

## A heveder szerkezete

A szállítószalag hevedereket általában vulkanizált gumiba ágyazott erősítőbetétekből készítik. Erősítésre a kordszövet a legelterjedtebb vázanyag, amelyet lánc- és vetülék kordocérnákból állítanak elő. Az egyenszilárdsági elv szerint úgy ágyazzák a kordszövetet, hogy a láncocérnák tengelye párhuzamos legyen a heveder  $x_1$  hossz tengelyével, a vetülékcérnáké pedig az  $x_2$  keresztten-gellyel (1. ábra).



1. ábra. A szövetvázal erősített heveder szerkezete



2. ábra. Az acélerősítés elrendezése a hevederben

Hosszú hevederek és nagy terhelések esetén speciális erősítést: párhuzamos acélhuzal betéteket alkalmaznak (2. ábra). Mivel az ilyen hevederben az acélszálak az  $x_1$  heveder hossz tengellyel párhuzamosak, a szálakra merőleges  $x_2$  irányban a kereszt irányú szálak hiánya miatt az összetett anyag szilárdsága gyakorlatilag a gumi szilárdságával egyenlő.

A hevederek szilárdságtani vizsgálata szerint az erősítőanyag szilárdsága mellett a gumi szilárdsága általában elhanyagolható, ami elősorban a két anyag rugalmassági modulus arányának következménye.

Vizsgáljuk meg a rugalmassági modulus viszonyát gumi-acél heveder esetén. Legyen az acél rugalmassági modulusza

$$E_a = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

az ágyazó gumié

$$E_g = 3 \text{ MPa}$$

A két anyag rugalmassági modulusz aránya tehát

$$\frac{E_a}{E_g} = 7 \cdot 10^4 \quad (1)$$

A csúsztató rugalmassági moduluszok számértéke acél-gumi anyagpár esetén

$$G_a = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$G_g = 1 \text{ MPa}$$

A két anyag csúsztatómodulusz aránya a fentiek figyelembevételével

$$\frac{G_a}{G_g} = 8 \cdot 10^4 \quad (2)$$

Az (1) (2) számadatok — amelyek tehát gumi-acél hevederre vonatkoznak — egyrészt a komplex rendszer sajátos rugalmas viselkedését támasztják alá, másrészt a két együttműködő anyag határfelületén a moduluszlépcsőre hív-

ják fel a figyelmet. Az (1) (2) nagy modulusz arányok miatt a gumiban ágyazott acél kordok lokális hatását figyelembe kell venni az összetett anyag mechanikai vizsgálataiban.

A heveder szerkezeti anyagok fejlődését vizsgálva megállapítható, hogy az erősítőanyag területén egyre nagyobb szerepet játszik az acélkord elterjedése. Ha figyelembe vesszük azt is, hogy a hevedergyártáshoz szükséges gumi és acélkord szükségletünket importból fedezzük, indokolt, hogy a hevederek összetett anyagának mechanikai vizsgálatával részletesen foglalkozzunk.

### A hevederek mechanikai igénybevételei

A szállítóhevederre nyugalmi állapotában statikus, vagy működése közben dinamikus terhelések hatnak. Statikus terhelést okoz a heveder feszítéséből származó húzóerő.

A dinamikus terhelés egyrészt a heveder saját mozgásából származik, másrészt a szállítandó anyagnak a hevederre hullásából keletkezik. E két dinamikus terhelés jellegénél fogva eltérő módon fejti ki hatását. Az első főleg hosszirányban veszi igénybe a hevedert és lengésszerű terhelést okoz, a második mind hosszirányban, mind keresztirányban ad terhelést és hatása impulzus formájában jelentkezik.

A dinamikus terhelések hatásait elemezve megállapítható, hogy a heveder saját mozgásából származó erők kevésbé veszélyesek, mert ezek — jó közelítéssel — egyenletes, állandó erőhatások formájában lépnek fel.

A hevederre kerülő anyag dinamikai hatása koncentrált- vagy megoszlóerő és a rugalmas, erősített kontinuum kölcsönhatása alapján vizsgálható.

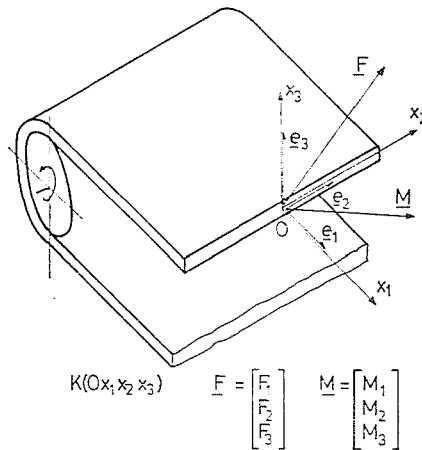
Terhelést okoz még a heveder tömegéből származó súlyerő, amely egyenletesen megoszló erőként fejti ki hatását a teljes hossz mentén. Számottevő mechanikai igénybevételt okoz a heveder számára a görgőkön és a dobokon való áthaladás.

A hevederre ható terhek hatására mechanikai igénybevételek ébrednek a komplex testben, amelyeket az ágyazóanyag és az erősítés együtt és együttműködve viselnek.

A síkheveder tetszőleges keresztmetszetének 0 középpontjában az  $F$  és  $M$  eredő vektorkettős írja le a mechanikai igénybevételeket (3. ábra). Ezek részletesebb elemzése céljából a keresztmetszethez tartozó  $K(Ox_1x_2x_3)$  lokális koordináta-rendszerben összetevőkre bontva vizsgáljuk az  $F$  és  $M$  eredő vektorkettős mechanikai hatásait.

A  $K$  derékszögű, egyenes tengelyű vonatkoztatási rendszer tengelyeit jelöljük ki a fenti sorrendben az

$$e_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$



3. ábra. A síkheveder mechanikai igénybevételeit reprezentáló  $F$ ,  $M$  vektorkettős

egységvektorok. Az analitikus jelölésmód szerint az egységvektorok jele  $e_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ).

Legyen az  $F$  eredő erő vektoregyenlete

$$F = F_1 e_1 + F_2 e_2 + F_3 e_3,$$

vagy röviden

$$F = F_i e_i$$

és az  $M$  eredő nyomatékvektor kifejezése

$$M = M_1 e_1 + M_2 e_2 + M_3 e_3,$$

vagy röviden

$$M = M_i e_i$$

A fenti komponensek között  $F_1$  húzást vagy nyomást, az  $F_2$  és  $F_3$  nyírást okoz a hevederben. Az  $M_1$  nyomaték csavarást, az  $M_2$  és  $M_3$  hajlítói igénybevételt jelent a hevederkeresztmetszet számára. A felsorolásból kitűnik, hogy a heveder anyagát összetett igénybevétel terheli.

Összefoglalva az elhangzottakat: Szállítóhevederek ellenőrzése vagy méretezése az alábbi igénybevételi matrixok alapján végezhető el az ágyazó- és az erősítőanyag mechanikai szerepének figyelembevételével

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix}$$

## A heveder reális mechanikai viselkedése és anyagának kontinuummodelljei

A hevedereket borító gumiréteg a szállító oldalon általában a koptató hatás kompenzálása érdekében vastagabb, mint az alsó oldalon, ezért a komplex anyagot a rugalmas tulajdonság irányjai alapján a quasi ortotrop testek közé soroljuk. Megállapítható az is, hogy a heveder-keresztmetszetben a gumi és kordváz váltakozva követi egymást, ezért az ilyen rendszert anyagszerkezete alapján a réteges testekhez soroljuk.

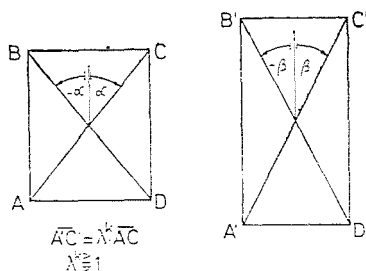
A szállítóhevederben a matrix-anyag és az erősítés mechanikai funkciója jól megkülönböztethető és elválasztható egymástól.

A gumi elsősorban az ágyazóanyag szerepét tölti be a komplex testben. A matrixanyag kapcsolja össze a kordszövetrétegeket és elősegíti az alakváltozás alatt a betétek együttléteződését. Az ágyazóanyag az erősítés összenyomásánál a kordcérnák kihajlását akadályozza, így a vázat védi a tönkremeneteltől.

A továbbiakban a korddal erősített rugalmas lemezek mechanikai tulajdonságaival foglalkozunk.

A legegyszerűbb inhomogén ortotrop lemezt váltakozva,  $\pm\alpha$  szögben vulkanizált gumiban ágyazott kordszövetrétegekből állítják elő. A komplex test betétszáma  $2m$ , ahol  $m$  az egyirányú betéteket jelenti. A rugalmas rendszert a  $|\pm\alpha| = \text{áll. kordgeometria}$  jellemzi. Az  $\alpha$  ágyazási szög értelmezési tartománya  $\alpha \in [0, 90^\circ]$ . Az elmélet elfajuló esetének tekinthető az az ortotrop betétpár, amelyben az egyik réteg kordcérnát  $\alpha_1 = 0^\circ$ -os, a másikat  $\alpha_2 = 90^\circ$ -os szögben ágyazták. A szállítószalag hevederek szempontjából az utóbbi ortogonális anyagmodell vizsgálata érdemel megkülönböztetett figyelmet.

A korddal erősített anyagrendszer totális alakváltozását egyrészt az erősítőszálak hosszváltozásával  $\lambda^k \leq 1$ , másrészt a cérnák ollózó mozgásával jellemezzük  $\alpha - \beta$  (4. ábra). Ezzel azt is hangsúlyozzuk, hogy a komplex test mechanikai viselkedését az erősítőanyag irányítja. R. S. Rivlin vizsgálatai szerint a gumiba ágyazott kordcérnák keresztvezési pontjai — ha vannak ilyenek — relatíve helytálló csuklóként viselkednek az alakváltozás alatt [1]. A hevederben ezek a csuklók a lánc- és vetülcéknák keresztvezési pontjaiban helyezkednek el.



4. ábra. A diagonális korddal erősített anyagrendszer alakváltozási állapota

A heveder modelljével kapcsolatban a deformáció során mindig feltételezzük, hogy az erősítőváz alakváltozását az ágyazóanyag tökéletesen követi. E jelenséget a *W. Hofferberth*-féle kompatibilitási egyenlettel írjuk le [2].

A reális gumi-kord rendszerekben a gumi térfogata az erősítőanyag térfogatának többszörösét teszi ki, ezért az összetett test energetikai vizsgálatánál az ágyazóanyag mechanikai szerepét figyelembe kell venni. Itt megjegyezzük, hogy ezzel szemben a gumi-kord rendszer szilárdsági tulajdonságainak vizsgálatánál a kord mellett a gumi hatása általában elhanyagolható. Ez a felismerés a gumi-kord rendszerrel kapcsolatban a hálóelmélet kidolgozására vezetett *W. Hofferberth* [3].

Az összetett testben a gumi-kord kölcsönhatást vizsgálva megállapítható, hogy a rugalmas rendszer mechanikai viselkedését az erősítőanyag irányítja.

Az irodalomban több közlemény foglalkozik a nyújthatatlan korddal ( $\lambda^k = 1$ ) erősített ortotrop tulajdonságú mechanikai testek vizsgálatával.

*R. S. Rivlin* vizsgálataiban az erősítés nyújthatatlan kord, e modellben az ágyazóanyag feladata a váz rétegeinek összekapcsolása. Az önkényesen bevezetett  $\lambda^k = 1$  geometriai feltétel miatt a vizsgálatok eredménye csak részleges alakváltozási állapot leírására alkalmas [1].

*A. E. Green* és *J. E. Adkins* szintén nyújthatatlan kordvázal erősített lemezek alakváltozási és feszültségi állapotát vizsgálták [4]. Eredményeik a  $\lambda^k = 1$  kényszerfeltétel miatt csak a parciális alakváltozási állapot leírására alkalmasak, a képletek a kordban felhalmozott alakváltozási energia kirekesztése miatt az összetett test teljes értékű energetikai vizsgálatára nem javasolhatók. A  $\lambda^k = 1$  miatt a kordban nem ébred erő, amely a reális gumi-kord rendszerek mechanikai viselkedésével ellentétben van.

A szállítószalag-hevederek mechanikai viselkedése különböző szerkezetű és fizikai tulajdonságú kontinuum modellekkel vizsgálható. Ilyen ideális test azonban a természetben nincs, a kontinuum tehát absztrakció, de a tapasztalat szerint létrehozása hasznos, mert pl. segítségével a hevederek anyagának mechanikai viselkedését céljainknak megfelelő hűséggel írhatjuk le.

A homogén ortotrop rugalmas kontinuum a vizsgálatok alapja minden olyan esetben, amikor a heveder ortotropiája kerül előtérbe, de figyelmen kívül hagyható a komponensek fizikai viselkedése, a gumi és a kord egymásra kifejtett hatása és a rendszer makro-anyagszerkezete.

A homogén ortotrop kontinuum fizikai egyenletét az alábbi alakban adjuk meg

$$\sigma_r = \mathbf{M}_{rs} \varepsilon_s \quad (3)$$

$$(r, s = 1, 2, \dots, 6)$$

ahol  $\sigma_r$  a feszültségek oszlopvektora

$\varepsilon_s$  az alakváltozás jellemzőinek oszlopmatrixa

$\mathbf{M}_{rs} = \mathbf{M}_{sr}$  szimmetrikus matrix, amely a rugalmas anyagjellemzők függvénye.

A (3) matrixegyenlet az ideálisan rugalmas test anyagának mechanikai viselkedését írja le: kölcsönösen egyértelmű függvénykapcsolatot állapít meg a  $\sigma_r$  és  $\varepsilon_s$  között. A feszültség és az alakváltozás jellemzőinek vektora közötti homogén, lineáris kapcsolat tehát az  $\mathbf{M}_{rs}$  matrix ismeretében írható fel.

A (3) egyenlethől kapjuk

$$\varepsilon_r = \overline{\mathbf{M}}_{rs}^{-1} \sigma_s \quad (4)$$

A (4) egyenlet az  $\varepsilon_r$  és  $\sigma_s$  közötti reverzibilis kapcsolatot tükrözi, ami az ideális test rugalmas viselkedésének a következménye.

A másik fajta hevedermodell az inhomogén ortotrop kontinuum az összetevők fizikai tulajdonságaival írja le a komplex test mechanikai viselkedését. Ilyen szerkezetű modellel vizsgálható heveder esetén a gumiban ágyazott kordváz és a komponensek egymásra kifejtett mechanikai hatása.

Az inhomogén ortotrop kontinuum fizikai egyenlete

$$\sigma_r = (\mathbf{M}_{rs}^g + \mathbf{M}_{rs}^k) \varepsilon_s \quad (5)$$

ahol  $\mathbf{M}_{rs}^g$  a gumi merevségi matrixa

és  $\overline{\mathbf{M}}_{rs}^k$  a kordváz merevségi matrixa

a  $\sigma_r$  és  $\varepsilon_s$  jelentése ugyanaz, mint a (3) egyenletben.

Az (5) egyenletben az  $\mathbf{M}_{rs}^g$  és  $\mathbf{M}_{rs}^k$  matrixok elemei nem függetlenek egymástól, hanem a gumi és a kordváz alakváltozási együttműködését leíró geometriai egyenletek alapján szoros kapcsolatban állnak egymással.

A reális hevederek anyagának mechanikai viselkedését azonban sem a linearitás, sem a rugalmas tulajdonság önmagában nem jellemzi. Velük kapcsolatban az előbbi ideális anyagtulajdonságok csak részben, illetve más tulajdonságokkal együtt fordulnak elő. Ha a lineárisan rugalmas szilárd kontinuumokra vonatkozó (3) (5) fizikai egyenletet alkalmazzuk a számításokban, akkor laboratóriumi vizsgálattal kell megállapítani a gumi-kord rendszerre vonatkozó deformációs határt, ameddig a (3) (5) alapegyenlet az előre megállapított hibával érvényes. Ez az utóbb javasolt eljárás azonban már az anyagvizsgálatok témakörébe tartozik.

### Irodalom

1. Rivlin, R. S.: Journal Rational Mechanics and Analysis 45, 951 (1955)
2. Hofferberth, W.: Kautschuk und Gummi. 9, 225 (1956)
3. Hofferberth, W.: Gummi und Asbest 9, 241 (1956)
4. Green, A. E.—Adkins, J. E.: Large Elastic Deformation and Non Linear Continuum Mechanics. Clarendon Press, Oxford, 1960.
5. Pósfalvi, Ö.: Anyagmozgatás—Csomagolás 22, 225 (1977)
6. Pósfalvi, Ö.: Anyagmozgatás—Csomagolás 27, 44 (1982)

Dr. Pósfalvi Ödön egy. adjunktus