

# TÖBBTÁRCSÁS SÚRLÓDÓ HAJTÁSNÁL FELLÉPŐ EXTRÉM IGÉNYBEVÉTELEK

MALIK András, NÉMETH János

Miskolci Egyetem  
Anyagmozgatás és Logisztika Tanszék  
3515 Miskolc Egyetemváros  
malikandras@vipmail.hu  
altnemet@uni-miskolc.hu

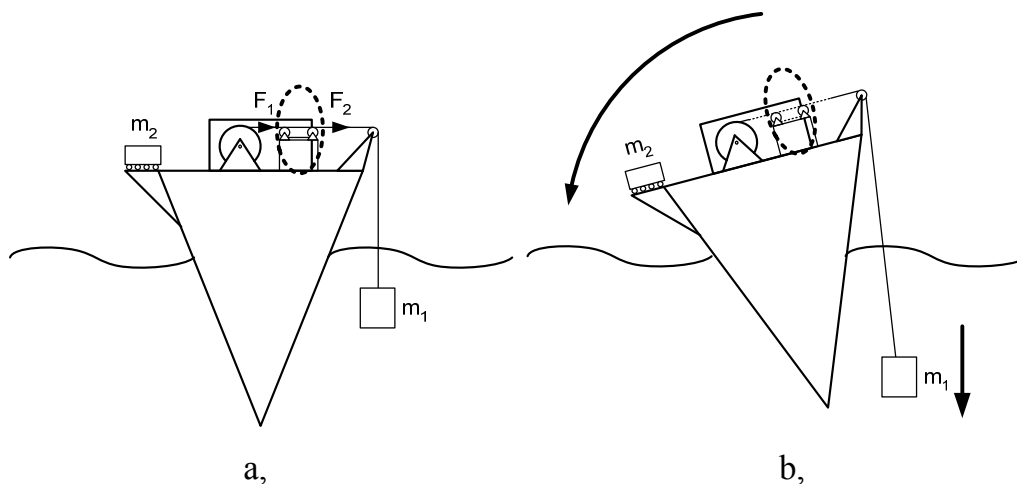
## KIVONAT

Többtárcsás súrlódó hajtásoknál, ha szinkronhajtást alkalmaznak, bizonyos esetekben a vonóelemben túlerők léphetnek fel. A túlerők több okra vezethetők vissza, előre nem becsülhetőek, és a vonóelem szakadásához is vezethetnek. Az extrém túlerők fellépésének elkerülése érdekében szükséges a többtárcsás súrlódó hajtásoknál használt vonóelemekben fellépő húzóerők pontos mérése, amelyek ismeretében a vonóelem szakadásának okaira magyarázat adható. A vonóerőerőket egy célirányosan választott kisminta-modellel határozzuk meg. A mérések és az elméleti vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az extrém erőhatásokat a megvezetésnél fellépő kopások, valamint a hajtóelem és a vonóelem között fellépő csúszások határozzák meg alapvetően. Cikkünk célja röviden tehát az, hogy a kopás és a megcsúszás okozta hatásokat érzékeltessük, ha a vonóelem acélsodrony-kötél.

**Kulcsszavak:** többtárcsás súrlódó hajtások, szinkronhajtás, túlerők megjelenése, kötélszakadás

## 1. BEVEZETÉS

A kutatás alapja egy hajóra szerelt, bonyolult felépítésű csörlőműnél előfordult, kötélszakadásra visszavezethető baleset. Először a baleset néhány körülményének ismertetése történik. A nyílt tengeren adott az 1.A, ábrán látható kábelfektető hajó. Az  $m_1$ -es tömeg jelképezi a kábel súlyát. A folyamatosan változó  $m_1$ -es tömeget a hajó ellentétes oldalán látó  $m_2$ -es tömeg mozgásával ellensúlyozzák. A kiegyensúlyozási folyamat relative lassú, mert a kábelt is lassan mozgatják (esetünkben süllyesztik). A



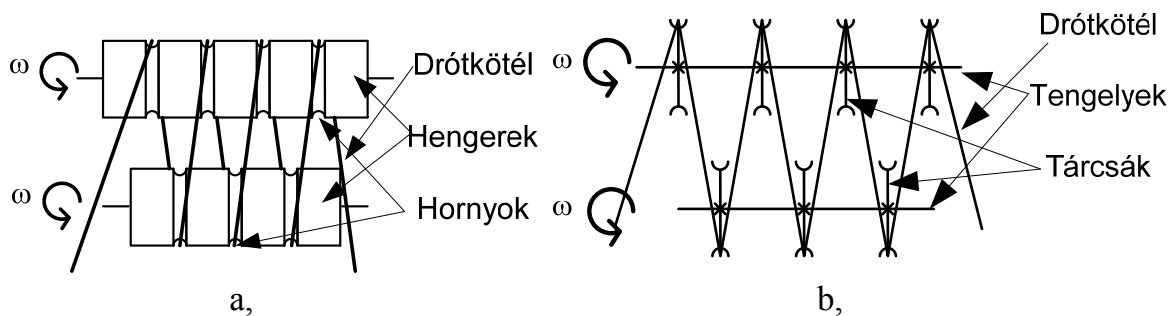
1. ábra A kábelfektető hajó a hasznos teherrel ( $m_1$ ) és az ellensúllyal ( $m_2$ ) (a,) és a hajó felborulása a kötélszakadás következtében (b,)

kábelt egy kötélhároló dobról csévélük le. A terhelést nem lehet közvetlenül a dobra

átadni, aminek több oka van, de alapvetően a csörlőmű sérülésének elkerülése érdekében építenek be a kötéldob elé többtárcsás súrlódó hajtást, amely a mozgathoz szükséges húzóerő-igényt biztosítja. A sérülés elkerülése érdekében a dobra adódó terhelést le kell csökkenteni süllyesztés vagy emelés közben, amit ez a kombinált csörlő-rendszer képes megvalósítani. Egy ilyen felépítésű súrlódó hajtásnál túlerők keletkeztek a többtárcsás súrlódó hajtási rendszerben és a kötélszakadt (1.b. ábra). A jelenség gyors lejátszódása miatt az  $m_2$  ellentömeget nem tudták időben, a kiegyensúlyozás érdekében visszahúzni, ezért a hajó felborult, aminek jelentős anyagi kár lett a következménye. Vizsgálatainkat ez az eset motiválta arra, hogy válaszoljunk a kötélszakadás okaira.

## 2. TÖBBTÁRCSÁS SÚRLÓDÓ HAJTÁSOK

A balasethél a pontos  $m_1$  tömeg és a dobnál fellépő húzóerő a lecsévélés

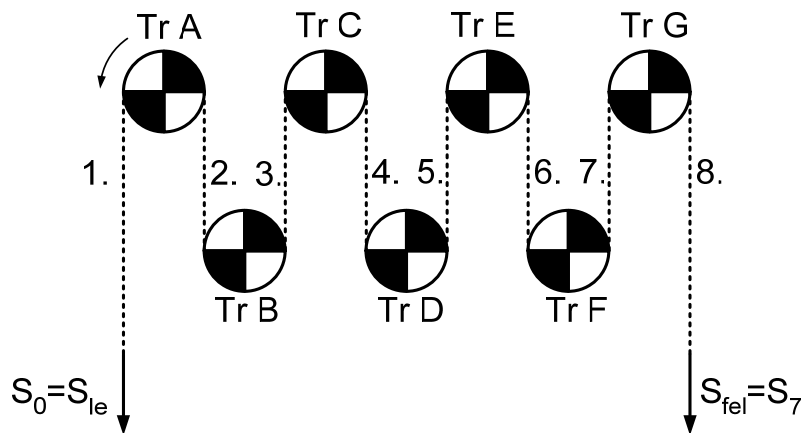


2. ábra Többtárcsás hajtások két fő típusa. A hengerekbe esztergált hornyos megoldás (a.) és a tengelyre rögzített tárcsás megoldás (b.).

pillanatában ismert. A kötélszakadás a többtárcsás súrlódó hajtáson belül történt, ezért szükséges az ilyen típusú csörlőrendszerek működésének a tanulmányozása. Az ilyen megoldású hajtó-rendszereknél egy kötelet alkalmaznak. A többtárcsás súrlódó hajtásoknak két alkalmazott változatát mutatja be a 2. ábra. Az egyik változatra 2.a. ábra) az jellemző, hogy két párhuzamos tengelyű dobon a kötélet megvezetésére alkalmas horonyrendszert képeznek ki. A másik változatnál (2.b. ábra) két párhuzamos tengelyre tárcsákat fűznek fel a tengelyre azokat fixen rögzítve. A legfontosabb tulajdonsága az párhuzamos tengelyű csörlőrendszernek, hogy szinkron hajtást alkalmaznak. Ez azt jelenti, hogy az összes tárcsánál, illetve horonynál a szögsebesség állandó. Néhány esetben csak az egyik tárcsásor hajtott, a másik pedig szabadonfutó.

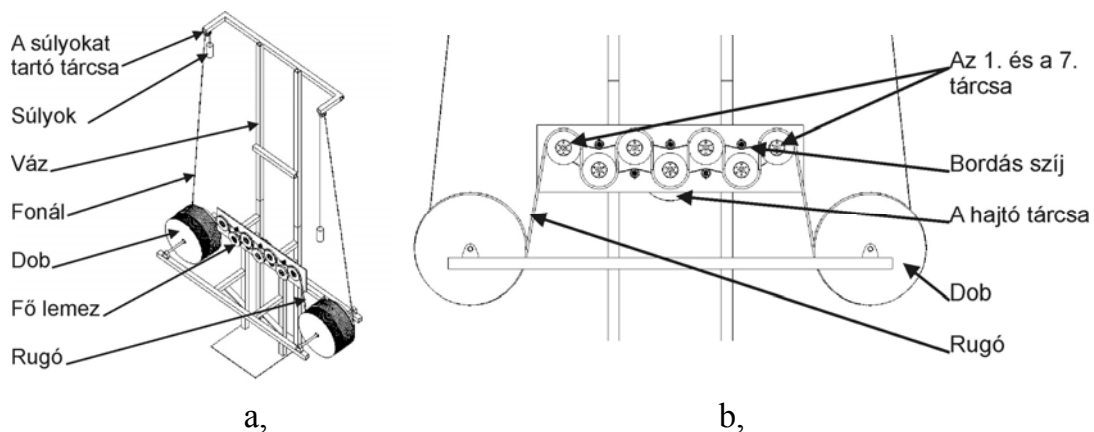
## 3. A KIVITELEZETT MÉRÉSI RENDSZER

A gyakorlati vizsgálatokhoz szükséges volt egy többtárcsás mérőrendszer tervezése és kivitelezése. Az elsődleges célunk volt, hogy a kötélerőt pontosan meg tudjuk határozni, és a mérése is egyszerű legyen. A megvalósításnál figyelembe kellett venni, hogy a modellünknek igazolnia kell a már eddig használt elméleteket és alkalmasnak kell lennie a túlerők regisztrálására is. A rendszert úgy terveztük, hogy egyszerre 7 tárcsa építhető be a vizsgálatokra, és ez a tárcsaszám már megfelelően nagy, hogy megjelenjenek a vizsgálni kívánt hatások. A rendszer kinematikai vázlatát a 3. ábra



3. ábra A mérőberendezés kinematikai ábrája

mutatja, ahol a Tr A-Tr G-ig a tárcsákat, 1.-8. a kötélágakat,  $S_{fel}$  és  $S_{le}$  a fel és lefutó ági erőket,  $\omega_1 - \omega_7$  a szögsebességeket jelölik. A fel és a lefutó ági erők lehetnek egyformák és különbözőek, hajtott tárcsák esetén  $\omega_1 - \omega_7$  szögsebességek egyenlők. A hajtást egy aszinkronmotor biztosítja, a sebességet egy frekvenciaváltóval tudjuk módosítani. A kivitelezett mérőrendszer CAD modelljét mutatja a 4. a, és b, ábra. A 4.b, ábrán látható hajtó tárcsán adja az aszinkronmotor a nyomatékot a középső tárcsára, illetve fogas szíjjal továbbítjuk innen a többi tárcsára. Minden tárcsa kivethető a hajtott sorból, mert mindegyiknél csavarok adják át az agyról a nyomatékot a tárcsákra. Ha a csavarokat kivesszük, akkor a tárcsa a továbbiakban csak terelő funkcióval rendelkezik. Ezen túl beállítható a rendszer úgy, hogy az egyik tárcsasor csak terelő funkciót tölt be. A 7 m hosszú rugó mindkét vége egy-egy dobra van



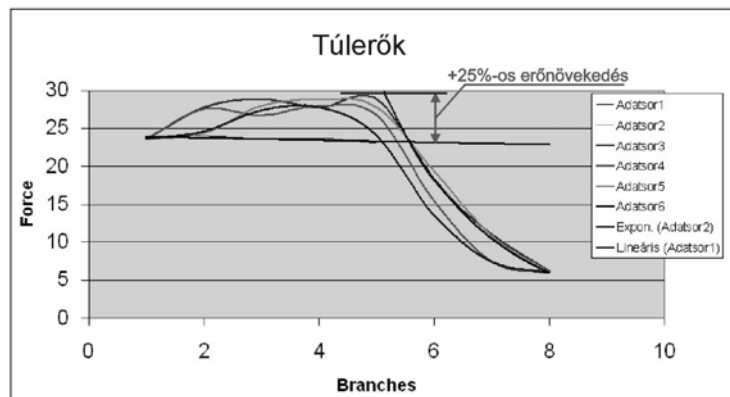
4. ábra A 7 tárcsás gép CAD modelljének kiemelt képei, részletei (a,b,)

feltekerve, hogy a rugó tömegéből származó járulékos terhelést kiküszöböljük. A terhelésként kalibrált súlytárcsákat használunk, amelyeket a 4. a, ábrán látható fonálra rögzítünk. A fonál áthaladva egy tartótárcsán a dobhoz van rögzítve úgy, hogy közben a megfelelő áttételt biztosítjuk. A rendszer vezérlését egy áramkör végzi, az irányváltást a tároló-dobokon alkalmazott indukciós érzékelő segítségével oldjuk meg. Irányváltáskor megáll a rendszer, mert csak így biztosítható az új forgásirányban a hajtott kötélet erőrendszerének statikus felépülése. A méréseket csak akkor kezdjük meg, amikor kialakul a rendszer stacioner üzemmenete, amely jó közelítéssel akkor áll be, amikor a tárcsákon átvett kötéletből egy teljes hossznyi átfutott. Ezt a kötél

elhelyezett jelzés lefutási ponton áthaladásakor érzékeljük. A mérés vizuális módon történik. A rendszerről készítünk futás közben több nagyfelbontású képet, amelyeken a rugók szakaszok egyenes ágaiban megmérjük a menetek távolságát. Így egyszerűen felrajzolható az erőátviteli diagramm a fényképezés pillanatában.

#### 4. NÉHÁNY EDDIGI MÉRT EREDMÉNY

A folyamat elemzéséhez építettünk egy mérőberendezést, amelynél mikro-modellezést alkalmaztunk. A jelenséget egy kisminta modellel vizsgáljuk, ahol a terhelések több nagyságrendekkel kisebbek, mint a valóságban. A vizsgálatoknál a kopások és a kenés hatása mutatkozott meghatározónak. Megfelelő beállításokkal (a tárcsák között mutatkozó eltérő kopások, a nagyobb kopású tárcsák hajtáson belüli elhelyezése, az alkalmazott kenőanyag minősége és mennyisége) számos esetet kimértünk a terelési, emelési és a süllyesztési erőátvitelnél. Néhány mérési eredményt mutat be a 5. ábra. Az erőátviteli diagramon a függőleges tengely a kötélben ébredő



5. ábra Néhány beállításnál már sikerült az elméleti erőátviteli diagrammhoz viszonyítva több, mint 25%-os erőnövekedést is regisztrálni

erőt (Force[N]) mutatja, a vízszintes tengely a kötélágak számát, illetve az átfogási szöget adja meg. A vizsgálataink során sikerült több, mint 25%-os erőnövekedést is regisztrálni, tehát a szakadást okozó jelenségeket a modellel elemezhetjük. A következőkben a túlerőket legjobban befolyásoló paramétereket mutatjuk be.

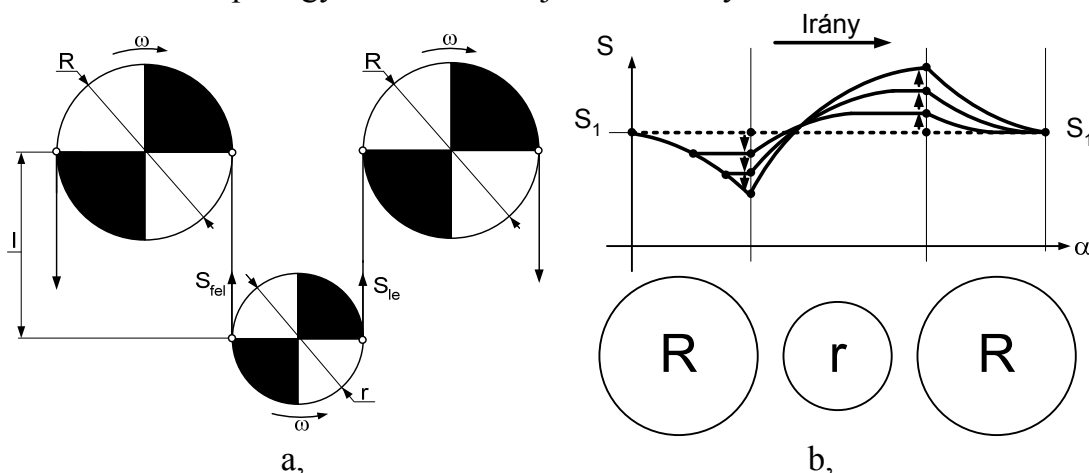
#### 5. A TÚLERŐK LEHETSÉGES OKAI

A mérési eredmények alapján két hatás tekinthető meghatározónak. Az első a tárcsák eltérő kopásából adódó relatív sebesség különbség. A nem egyforma erőátvitel az adott tárcsákon különböző kopásokat okoz, így az egymás mellett lévő tárcsák átmérője hosszú idejű működtetés során már jelentősen különbözhet. A másik hatás a kenés, amely a megcsúszás helyét és pillanatát befolyásolja. A megcsúszás hatása kedvezőtlen, mert a hirtelen változó kopási viszonyokon túl a rendszer irányíthatatlanná válik. Megcsúszás azért léphet fel, mert a kívánt átviendő kerületi erő nagyobb, mint amit a hajtóelem (hajtott tárcsa) képes átadni. Az átadható kerületi erőt az átfogási szög, a kötél és a hajtótárcsa között fellépő súrlódási tényező, valamint a lefutóági húzóerő határozza meg. A súrlódási tényező értéke a kenési állapot mellett a

relatív sebességtől, a fajlagos vonalnyomástól is függ, tehát a megcsúszást számos tényező befolyásolja. Ha a relatív sebesség zérus, akkor a tapadó súrlódás érvényes, amennyiben zérustól nagyobb, akkor már a mozgásbeli súrlódás érvényesül. A mozgásbeli súrlódásnál tehát slip van a kötéll és a tárcsa között, amit rugalmas csúszásnak, vagy mikro-csúszásnak foghatunk fel. Ha a kötéltre nagyobb terhelés hat, mint amit a hajtással át lehet vinni, akkor megcsúszik és makro-megcsúzás lép fel. Ilyenkor a le- és a felfutóági erők a megcsúzás környezetében közel azonosra kiegyenlítődnek. A kiegyenlítődési folyamat egy rántásszerű longitudinális hullámot indukál a kötéllben. A makro-megcsúszást alapvetően a lefutóági erő nagysága befolyásolja. Ha a súrlódási tényező csökken, akkor a biztonságos erőátvitelhez a lefutóági erőt meg kell növelni. Ha ezt nem tudja a rendszerünk, akkor a kritikus terhelésű helyen megtörténik a megcsúzás, ami a fellépő dinamikus hatások miatt tovább gyűrűzve újabb helyeken is megcsúszásokat gerjeszthet. Az ilyen típusú, paraméteresen gerjesztett longitudinális rezgő rendszer vizsgálata adhat magyarázatot a fellépő extrém terhelésekre. Hasonló a hatása a kopásokból származó stacionér jellegű többleterőknek, ugyanis az eltérő tárcsaméretetek hatására az egyik kötéllágba több kötéll betolása történik (kilazul), míg a másik ágból pedig kevesebb kötéll távozik (túlfeszül) mindaddig, amíg a makro-megcsúzás be nem következik. Ilyenkor a két jelenség egymásra szuperponálódva érvényesül, és véleményünk szerint ez az eset tekinthető kritikusnak.

### 5.1. A tárcsakopások hatása

Az különböző emelési és süllyesztési erőátviteli diagrammoknál nem minden tárcsán azonos az erőátvitel, így a rendszerben eltérő kopási arányok fordulnak elő. A különböző kopási arányok eltérő átmérőjű tárcsákat eredményeznek. A szinkronhajtás miatt az eltérő tárcsaátmérek relatív sebességkülönbségeket okoznak a tárcsák között. A relatív sebességkülönbség hatásának szemléltetésére a 6. a. ábrán a három tárcsás rendszerben középre egy kisebb átmérőjű tárcsát helyeztünk. A kisebb tárcsa átmérője



6. ábra A 3 tárcsás rendszer kinematikai vázlata (a,) és a relatív sebességkülönbségek okozta kilazulás és túlerő megjelenése (b,)

$r$ , a nagyobbaké  $R$ , a tengelytávolság  $l$ . A rendszer balról jobbra hajtott és a rendszer végein a terhelések megegyeznek ( $S_1=S_2$ ). Az  $S_{fel}$  és az  $S_{le}$  a fel és a lefutó ági erőket

jelentik. A vizsgálat legfontosabb kérdése, hogy a túlerőket miként befolyásolják a relatív sebesség különbségek. Az első esetnél a kisebb tárcsát középre helyeztük el. Ezt az esetet mutatja be a 6. b. ábra, amelyen az erőátviteli diagrammot adjuk meg. A diagramm függőleges tengelyén a kötélterő ( $S$ ), a vízszintes tengelyen az átfogási szöget ( $\square$ ) adjuk meg. Az első két tárcsa között kilazulás keletkezik, amelynek mértéke folyamatosan nő. Az első nagyobb tárcsa több kötelet szeretne kettőjük közé bevinni, mint amennyit a kisebb tárcsa továbbítani tud. A középső és az utolsó tárcsa között fordított jelenség játszódik le. A nagyobb tárcsa több kötelet szeretne továbbítani, mint a kisebb be tud közéjük vinni, így folyamatos túlfeszítő hatás keletkezik. Ennél a rendszerben a kilazulás és a túlfeszítés addig tart, amíg a két hatás eléri egymást és kiegyenlítődnek. A növekedés megáll, viszont a rendszerbe marad kilazulás és túlfeszítés egyaránt. Az első esetnél a rendszerben keletkező maximális túlfeszítés és kilazulás egyaránt megállapítható. Csúszás csak akkor történik, ha a tárcsa azelőtt elérné a maximálisan átvihető kerületi erőt, mielőtt a kiegyenlítő hatás megkezdődne. Az eltérő tárcsaátmérőkből adódó relatív útkülönbség a következő formában írható:

$$\Delta s = s_R - s_r = s_r \cdot \left( \frac{R}{r} - 1 \right) \quad (1)$$

Ahol az  $s_R$  a nagyobb tárcsa által továbbított kötélhossz, az  $s_r$  a kisebb tárcsa által továbbított kötélhossz. A továbbiakban értelmezhetünk új módosított le és felfutóági kötélterőket a következő formában:

$$S_{le}' = S_{le} + \Delta S; \quad S_{fel}' = S_{fel} - \Delta S \quad (2)$$

Ahol az  $S_{le}'$  és az  $S_{fel}'$  az új fel és lefutó ági erők, a  $\Delta S$  a  $\Delta s$  átvitt kötélhossz különbségből adódó kötélterő változás. Ahol pozitív relatív sebességkülönbség van, ott túlfeszítés tapasztalható, ahol negatív relatív sebességkülönbség van ott kilazulás. A kisebb tárcsa átvihető kerületi ereje a következő formában írható:

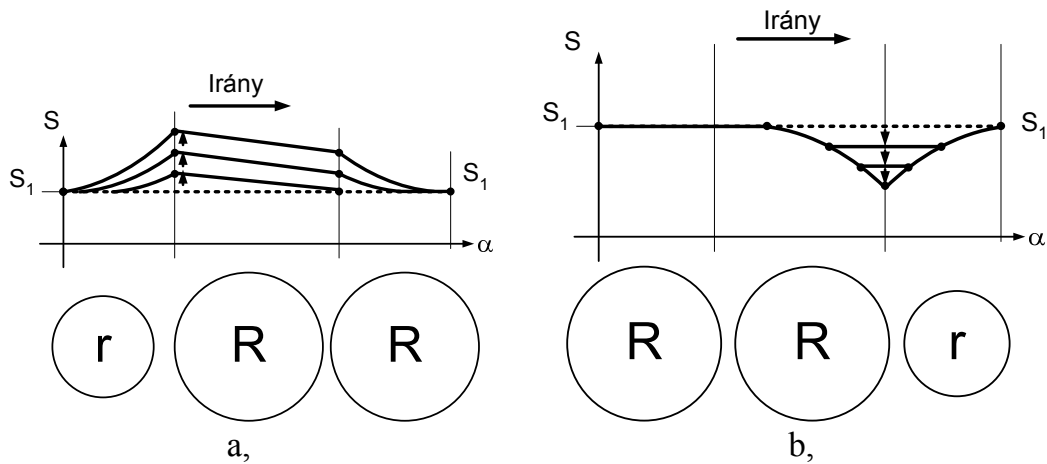
$$F_{ker}' = S_{fel}' - S_{le}' = S_{fel} - \Delta S - S_{le} - \Delta S = F_{ker} - 2\Delta S \quad (3)$$

Ahol az  $F_{ker}'$  az új módosított átvihető kerületi erő, az  $F_{ker}$  az alap átvihető kerületi erő. A tárcsán átvitt kerületi erő csökken. Ha azt az esetet vizsgáljuk, amikor a középső tárcsa nagyobb, mint a két szélső, akkor a következő összefüggés írható fel:

$$F_{ker}'' = S_{fel}'' - S_{le}'' = S_{fel} + \Delta S - S_{le} + \Delta S = F_{ker} + 2\Delta S \quad (4)$$

Ahol a kettő vesszős jelölések megegyeznek az előzőekben tárgyaltakkal, csak a nagyobb tárcsára vonatkoznak. Az átvitt kerületi erő a nagyobb tárcsán nő. A tanulság a két kerületi erőnél az, hogy ha megcsúszik a rendszer, az a nagyobb tárcsán történik, mert ott lépi túl az átvihető kerületi erőt az aktuális kerületi erő mértéke. A kisebb tárcsa elhelyezkedhet a rendszer végein is. Ekkor két különböző speciális esetet lehet megkülönböztetni. Az elsőnél a kisebb tárcsa a rendszer elején van, az második esetnél a rendszer végén. A két eset erőátviteli diagramját mutatja az 7. a. és b. ábra. Ha a kisebb tárcsa a rendszer elején található, akkor a relatív sebességkülönbség csak a tárcsa után okoz nemkívánatos hatásokat. Ekkor csak a túlfeszítő hatás marad meg a

tárcsát követő nagyobb tárcsa miatt, amely folyamatos. A növekedés csak akkor áll meg, ha a nagyobb tárcsán a kötélt megcsúszik. Az ilyen típusú tárcsakonfigurációnál a

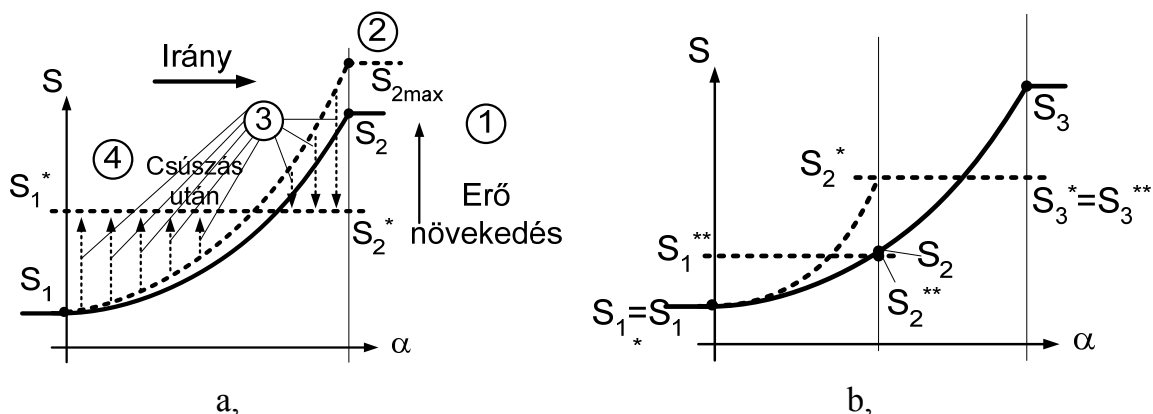


7. ábra A 3 tárcsás rendszernél az erőátviteli diagramok alakulása: ha a kisebb tárcsa a rendszer elején van, akkor csak túlerők keletkeznek (a,) vagy ha a rendszer végén található, akkor csak kilazulások keletkeznek (b,)

megcsúszás biztos. A másik esetben a a kisebb tárcsa az utolsó helyen van, így csak kilazulás történik. Ez az eset a fordítottja az előzőnek. A megcsúszás itt is biztos. A csak erőfelépülés és a csak kilazulás esetét mutatják az előbb említett 7. a. és b. ábra erőátviteli diagramjai.

## 5.2. A megcsúszások hatása

Ha a tárcsán a kerületi erő eléri a tárcsán átvihető maximális erőt, akkor megcsúszik a kötélt. A rendszer kenésétől függ a megcsúszás helye és ideje. A megcsúszás folyamatát mutatja 8. a. ábra egy erőátviteli diagramon egy tárcsás süllyesztéses esetben. Az első pillanatban (1) az  $S_2$  erő hirtelen nő. A (2) pillanatban eléri a



8. ábra A megcsúszás folyamata süllyesztéses esetben, ha a rendszer egy tárcsás (a,) és a folyamatos megcsúszás szemléltetése két tárcsás rendszerénél (b,)

maximálisan átvihető erőt. Ekkor a tárcsán megcsúszó kötélt kiegyenlítődik az erő (3). Végül a (4) ponttal jelzett vízszintes egyenesre áll be. A csúszáskor sokkal aktívabb kopások jelennek meg. A csúszás az előzőekben tárgyalt nagyobb tárcsán

indul meg, így a rendszer próbálja kiegyenlíteni magát. A nagyobb tárcsa jobban fog kopni, így hozzákopik a többihez. A 6.b. ábrán két tárcsán történő folyamatos megcsúszás látható. Az első időpillanatbeli állapotokat tükrözik az  $S_1$ ,  $S_2$  és az  $S_3$  kötélterők. A 2. tárcsán a megcsúszást követően beáll egy kiegyenlítődés. Az első megcsúszás utáni állapotot az  $S_1^*$ ,  $S_2^*$  és az  $S_3^*$  mutatják. Az első tárcsánál bekövetkezett hirtelen erőnövekedés az  $S_2^*$ . Az erőnövekedés következtében a kerületi erő átlépi az átvihető maximumot, így az első tárcsán is bekövetkezik a csúszás. A második csúszás utáni állapotot mutatja az  $S_1^{**}$ , az  $S_2^{**}$  és az  $S_3^{**}$  erőrendszer. A megcsúszás továbbterjedhet akár az egész rendszeren is. A megcsúszás veszélyes, mert a rendszer instabillá válik. A teljes rendszer megcsúszásának következménye lehet a hasznos teher hirtelen felgyorsulása, majd hirtelen megállása is. A folyamat egy agresszív rántásként jelentkezik a rendszerben, amely hirtelen túlerőket okoz.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hajtási rendszer alternatív mozgásai miatt a nagyobb terhelésű tárcsák kopnak gyorsabban, ami szinkronhajtás esetén egyrészt kilazulásokat, másrészt pedig megfeszüléseket, illetve nemkívánatos megcsúszásokat és gerjesztett lengéseket idéznek elő. A megcsúszással intenzív erőkiegyenlítődés és hőfejlődés jár, ami mind a vonóelem, mind a hajtóelem károsodását okozza. A túlerőket elsősorban a relatív sebességkülönbségek illetve a hirtelen megcsúszások okozzák. A további elméleti és kísérleti vizsgálatok szükségesek, a folyamat még pontosabb leírása érdekében.

### EXTREME LOADS BY MULTI SHEAVES FRICTION DRIVES

Sometimes unexpected overloads start up in multi-sheaves cable systems by synchrodrive. These overloads can not be foreseen and could cause the breakage of the rope(s). The correct measuring of tensile force in wire rope is necessary to prevent the breakage. By right and correct measuring the reasons of the breakage could be defined. In this publication the tensile force is measured by micro-modeling and a spring is used instead of wire rope. According to the theoretical analysis and the experiences the wear and the slide have the greatest influences to the overloads. The main aim of this publication is to show shortly the influences of the wears and the slides.