Miskolci Egyetem és CASAR Drahtseilwerk Saar GmbH

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

TÖBBTÁRCSÁS SÚRLÓDÓ HAJTÁS ERŐJÁTÉKÁNAK ELEMZŐ VIZSGÁLATA A TÁRCSAKOPÁSOK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

PH.D ÉRTEKEZÉS

KÉSZÍTETTE:
Malik András
Okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA,
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMATERÜLET,
ANYAGMOZGATÓ GÉPEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:
Dr. Tisza Miklós
egyetemi tanár

TÉMACSOPORT VEZETŐ:
Dr. Döbröczöni Ádám
professor emeritus

TÉMAVEZETŐ:
Dr. Németh János
c. egyetemi tanár

TÁRS TÉMAVEZETŐ:
Dr. Szabó Tamás
egyetemi docens

Miskolc, 2015

Bíráló Bizottság:

Elnök:	Prof. Dr. Illés Béla, ME, intézetigazgató, egyetemi tanár
Titkár:	Dr. Szabó Ferenc János, ME, egyetemi docens
Tagok:	Dr. Bohács Gábor, BME, egyetemi docens Dr. Ladányi Gábor, ME, egyetemi docens Prof. Dr. Égert János, Széchenyi István Egyetem, tanszékvezető, egyetemi tanár
Hivatalos bírálók:	Horváthné Dr. Varga Ágnes, ME, egyetemi tanár Prof. Dr. Véha Antal, Szegedi Tudományegyetem, intézetvezető, egyetemi tanár

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 1

1.1. PROBLÉMA BEMUTATÁSA 1
1.2. IRODALOMKUTATÁS 2
1.2.1 Többtárcsás súrlódódó hajtások felépítése 2
1.2.2. Euler összefüggés és elhanyagolásai 3
1.2.3 Többtárcsás kötélhajtások erőátvitele 4
1.2.4 A jelenlegi kutatáson korábban dolgozók munkájának összefoglalása 5
1.3 NYITOTT KÉRDÉSEK ÉS CÉLKITŰZÉS 7

2. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE 8

2.1. AZ ESZKÖZRENDSZER 8
2.1.1. Paraméterek 8
2.1.1. A 7 tácsás vizsgáló berendezés továbbfejlesztése 8
2.1.2. Képfeldolgozó program fejlesztése 9
2.1.3. VEM program fejélesztése 9
2.2. A MÉRÉSEK ÁLTALÁNOSÍTÁSA 10
2.2.1. Túlerők és kilazulások legnagyobb értékeinek meghatározása 11
2.3. NYITOTT KÉRDÉSEKRE A VÁLASZOK 12
2.3.1. Keletkezhetnek extrém feszültségállapotok, illetve túlerők stacionér üzemállapotban? 12
2.3.2. Ha igen, akkor milyen paraméterek befolyásolják a legnagyobb túlerő, illetve a legnagyobb kötélerők kialakulását? 12
2.3.3. Hogyan és milyen módon előzhetőek meg a jövőbeni balesetek, illetve a kötélerők szempontjából a nem kívánt hatások? 13

3. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA 14

4. SUMMARY 17

5. TOVÁBBFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI 20

A DISSZERTÁCIÓBAN HIVATKOZOTT IRODALOMJEGYZÉK 21

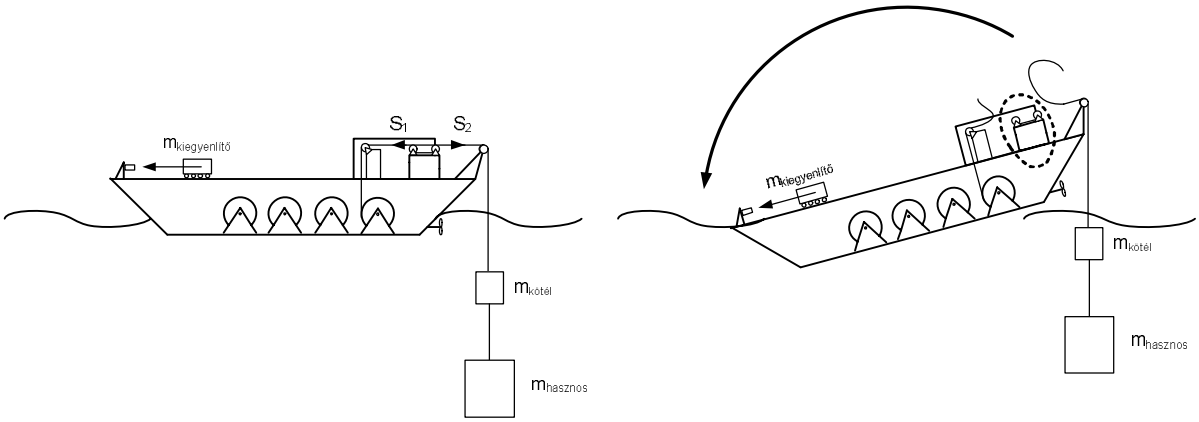
PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN 24

1. Bevezetés

1.1. Probléma bemutatása

A kutatás alapja egy a Mexikói-öbölben előfordult baleset. Egy kábelfektető hajó a kábelfektetés közben felborult. Az előzetes vizsgálatok alapján a borulást a hirtelen bekövetkezett kötélszakadás okozta. Jelentős anyagi kár keletkezett. A kötélszakadás okaira, a mai napig nem derült fény.
A hajón nagy kábeltárolókat használtak. A kábelt a tárolókról tárcsás rendszereken egy többtárcsás súrlódó hajtáson vezetik át. A hullámzás hatását rugós megtámasztású csillapító rendszerek használatával küszöbölik ki.
A folyamatos kábelmozgatás közben a vízbe eresztett kábel mennyisége és tömege nő, illetve a hasznos teher össztömege is nagy. A kötél felcsévélésénél, lecsévélésénél, vagy egyszerű tárolásnál a tároló doboknál nagy kötélerők nem alakulhatnak ki. A szerkezeti károsodások, szakadások és a megcsúszások elkerülése ill. a kontrollálhatóbb süllyesztés és emelés érdekében szükséges a többtárcsás súrlódó hajtások alkalmazása.
A problémát az 1.a) és b) ábra alapján részletezzük tovább. Az S_1 és az S_2 a súrlódó hajtási rendszer végein lévő kötélerők, amelyek a terheléssel arányosak, az $m_{kötél}$ a kábel súlyának tömege, az $m_{kiegyenlítő}$ az ellensúly és az $m_{hasznos}$ a hasznos teher. A balesetnél bekövetkezett kötélszakadás a többtárcsás súrlódó hajtásnál keletkezett, amely végül a hajó felborulásához vezetett. Az eljutott információk közül azt emelném ki, hogy:

- a kötél elszakadása miatt borult fel a hajó,
- a fel és lefutó ági terheléseknél nem történt változás,
- a többtárcsás súrlódó hajtás fel és lefutó ági pontja között történt a kötélszakadás.



a) b)

1. ábra. A kábelfektetés vázlata a) a hajó felborulása a kábelszakadás következtében b)

A kutatás célja, hogy a hajtási rendszeren belüli erőjátékot feltárja.

A kutatást CASAR Drahtseilwerk Saar GmbH Germany, a FUX ZRt. és a Miskolci Egyetem támogatta

1.2. Irodalomkutatás

A kutatási feladat fő nehézsége, hogy a balesetről a bírósági ügy miatt csak kevés információt kaptam meg, illetve a belső erőjáték témakörében a többtárcsás hajtásokról csak érintőleges magyar és külföldi irodalom áll rendelkezésre.

A mai kutatási irányok alapján, ahol a minél nagyobb átvihető teljesítmény és a megcsúszás mentes üzem elérése a cél, a többtárcsás súrlódó hajtások terjedtek el. Nem ritka a 10-20 közötti tárcsa számú hajtások alkalmazása sem, amely az összesített átfogási szög növelésének felel meg. A nagy tárcsaszámnál az Euler összefüggést használják, amely a rendszer maximális kihasználtságánál adja meg a legnagyobb átvihető kerületi erőt, amennyiben a csúszás határán üzemelünk. Terheléstől függően az egyes tárcsák egyenlőtlen erőátvitellel és különböző kopásokkal jellemezhetők.

A belső erőjátékról többtárcsás súrlódó hajtások esetén kevés információval rendelkezünk [1, 14, 36, 39, 47, 49, 70]. A baleseteket, amelyek nem járnak nagy anyagi kárral, vagy személyi sérüléssel nem dokumentálják részletesen, ezért a pontos okokra nehezen lehet választ adni. Kiemelendő a Westfälische Berggewerkschaftskasse Seilprüfstelle 1966-os Bochum-i jelentése (18. oldal) [73], amelyben a mi esetünkhöz nagyon hasonló kötélszakadást írnak le. A pontos okokra sajnos nem térnek ki.

A többtárcsás hajtások kérdéskörén belül a bányászati csörlőket vizsgálta például Wainwright E. J. [72], de a belső erőjáték, vagy a többtárcsás hajtási problémára nem tér ki. Billich J. és Hoffmann K. [6] a két párhuzamosan futó kötél hajtási problémáját vizsgálta, ha a meghajtótárcsák átmérője különbözik (kötéllel alátámasztott futószalagoknál), amely esetünkre nem alkalmazható. A kötélpályák szakirodalma nagy, de ott általában 2 tárcsás meghajtást alkalmaznak és azt is főleg csak az inga-járatúaknál [61]. Meg kell említeni Robol A. [60] kutatását is, aki elsődlegesen az átvihető teljesítményre helyezte a hangsúlyt, de a belső erőjáték problémájával nem foglalkozik.

Az egyik legalaposabb munka a többtárcsás hajtások elméletét illetően Heumann H.-hoz [28, 29, 30] kötődik, aki 2 és 3 tárcsás rendszereket vizsgált. Kitér arra, hogy az elméleti erőátvitelnél hogyan történik az egyes tárcsák között az erőeloszlás például az Euler-féle összefüggés alapján. Sajnos az elméletitől eltérő belső erőjátékot, mint például az átmérőkülönbségből adódó erőjátékot Ő sem vizsgálta.

A kötél és tárcsa tanulmányozta Lugris [44], de a belső erőjáték problémájára Ő sem tér ki. A többtárcsás hajtásokhoz közvetett kapcsolódó rendszerek például a Continuous Variable Transmissions (CVT)-k területén Bullinger [9] és Srivastava [66] értekezéseit tekinttettem át, de a CVT-k alapvetően különböznek a tárgyalt rendszerünktől. Ott mindig egy tengely hajtott, ezért a szinkron hajtási problémák helyett a megcsúszási problémák a jellemzőek.

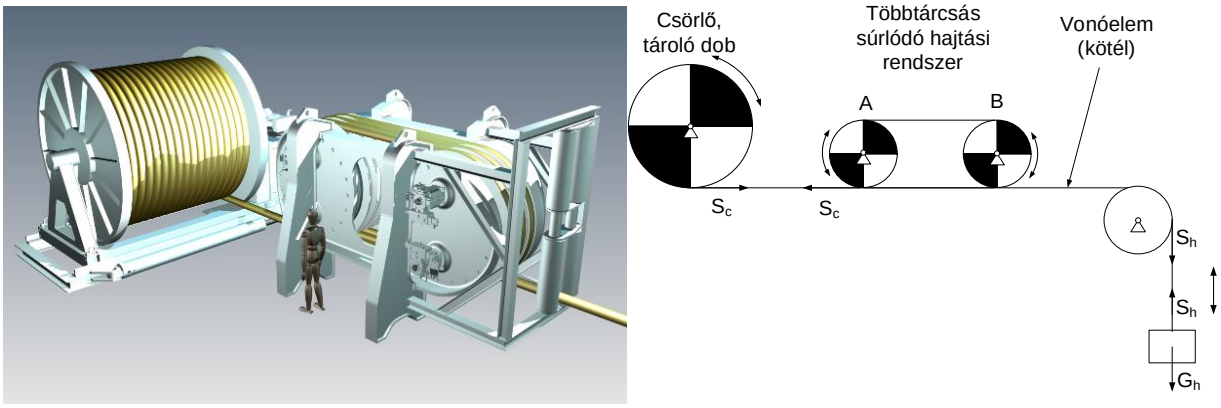
Az átnézett irodalom alapján a baleset okainak feltárásához szükséges a belső erőjáték pontos ismerete.

1.2.1 Többtárcsás súrlódódó hajtások felépítése

A többtárcsás súrlódó hajtások általában három fő részből épülnek fel [39]. Az első a vonóelem (kötél), a második a csörlő (tároló dob) és a harmadik a többtárcsás hajtási rendszer. Egy általános rendszer CAD modellje és vázlata látható a 2.a) ábrán.

A modern vonóelemek feladatukat és kialakításukat tekintve nagyon különbözőek lehetnek. A kötelek egyik jellemzője, hogy csak axiális irányú húzóerőt képesek felvenni. A hajlítási ellenállásuk kicsi és axiális irányú nyomóerőt nem tudnak felvenni.

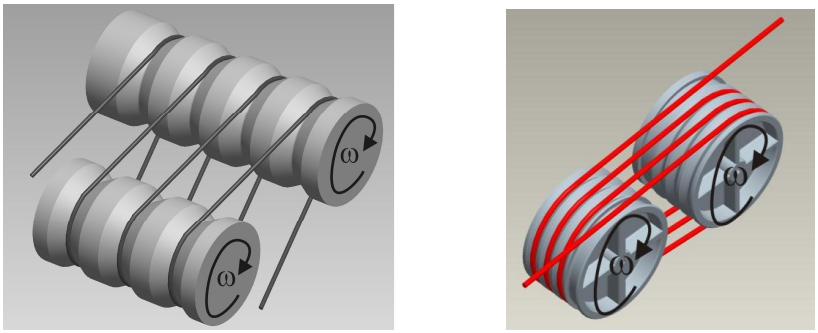
A csörlő elsődleges feladata a vonóelem sérülésmentes tárolása, amely felcsévéléskor hajtott, lecsévéléskor fékezett, hogy a megfelelő felfutó ági erőt biztosítsa a többtárcsás súrlódó hajtás számára.



a) b)

2. ábra. Egy általános felépítésű csörlőrendszerrel támogatott többtárcsás súrlódó hajtás CAD modellje a) és a CAD modell alapját képező kinematikai vázlat b)

A 2.b) ábrán látható a csörlő, amely hajtással, vagy fékezéssel szabályozza az S_c kötélerőt.
A többtárcsás súrlódó hajtás feladata a megfelelő kerületi erő továbbítása. A hajtás tárcsasorait a 2.b) ábrán az „A” és „B” jelölik. Az alapesetnél minden tárcsasor hajtott. A hasznos teher tömege G_h, az ebből származó kötélerő S_h.
A tárcsás hajtások két jellemző változatát mutatja be a 3.a) és b) ábra. A 3.a) ábrán bemutatott változatra az jellemző, hogy két párhuzamos tengelyű dobon a kötélzet megvezetésére alkalmas horonyrendszert képeznek ki. A 3.b) ábra szerinti elrendezésnél két tengelyre rögzítik a tárcsákat.



a) b)

3. ábra. Többtárcsás súrlódó hajtás tárcsasorainak CAD modelljei: hengeres verzió, mart hornyokkal a) és tárcsás verzió b)

A párhuzamos tengelyű hajtási rendszerek legfontosabb tulajdonsága, hogy szinkronhajtást alkalmaznak, vagyis az összes tárcsa, illetve dob szögsebessége állandó. Néhány esetben csak az egyik tárcsasor hajtott, a másik szabadonfutó. A kötél hornyokban történő megvezetése azért fontos, mert így pontosan definiált a fel és lefutási hely. A többtárcsás rendszerekkel hajtják, vagy fékezik a kötelet, eközben a rendszer két végén a felfutó és a lefutó ági erő különböző. Amennyiben azonos, akkor a tárcsák terelő funkciót látnak el. Az említett súrlódó hajtás segítségével a kötélerő a tároló dobnál lecsökkenthető, így a kötél károsodása megelőzhető.

1.2.2. Euler összefüggés és elhanyagolásai

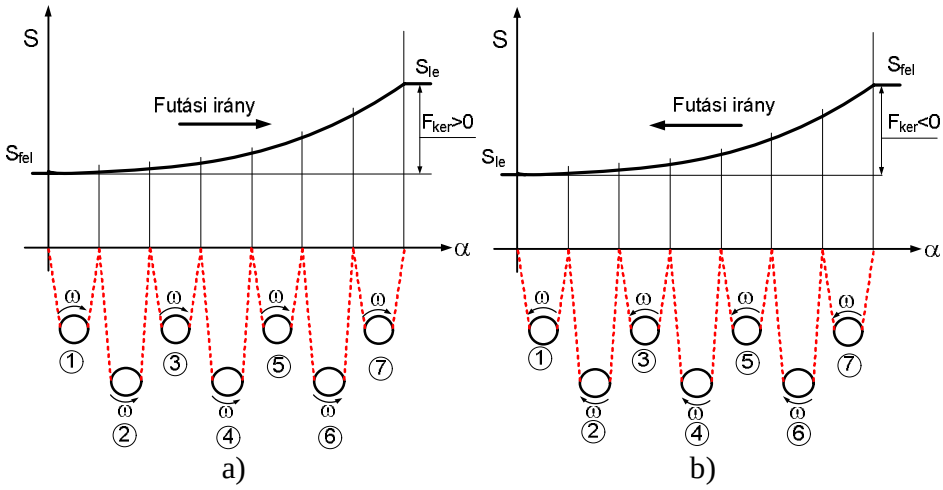
Az Euler összefüggés közismert alakja a következő [1, 14, 15]:

$$S_2 = S_1\, e^{\mu\varphi}. \qquad (1.)$$

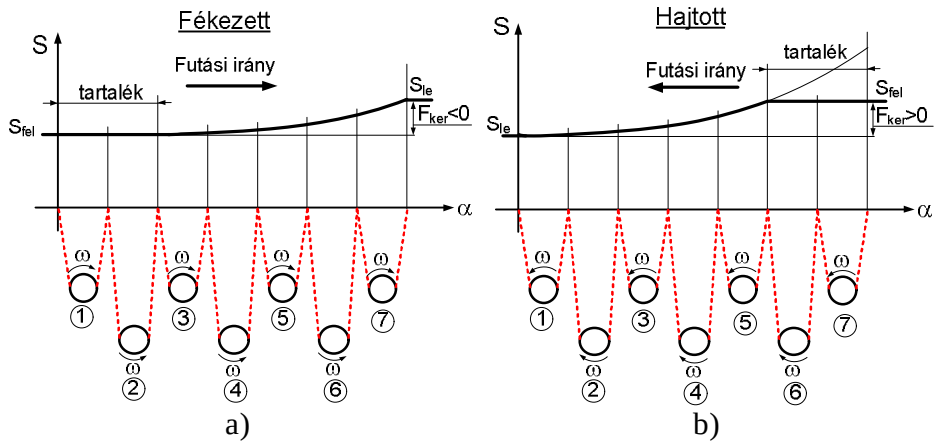
Az Euler összefüggés tehát azt adja meg, hogy adott súrlódási tényező (μ) és átfogási szög (α) mellett, a lefutó ági erőhöz (S_1) mekkora maximális felfutó ági erő tartozhat (S_2). A rendszerre jellemző konstansokat szokás egy egyszerűsített állandóval is jelölni:
Hajtás szempontjából három alapesetet különböztetünk meg, amelyek a [14]: terelési terhelési állapot, az emelési terhelési állapot (hajtás) és a süllyesztési terhelési állapot(fékezés).
A gyakorlatban számos alkalommal fordulnak, hogy az egyes paraméterek nem állandók, így például az átfogási szög változását, a súrlódási tényező változását, vagy a kötél és tárcsa nyúlását, alakváltozását és kopását az alap összefüggés nem veszi figyelembe.
Az átfogási szög rögzített helyzetű tárcsák esetén a tárcsakopások miatt változhat, vagy cserélhető tárcsák esetén a nem megfelelő átmérőjű tárcsa alkalmazásakor.
A súrlódási tényező a valós rendszereknél változhat egy tárcsa felülete mentén, vagy két tárcsa között. Tárcsajellemzőként fontos megemlíteni a horonybetéteket (pl. gumi, vagy műanyag), amelyek nem alkalmasak nagy felületi nyomás esetén, viszont jelentősen növelik a súrlódási tényezőt, amely a következő okok miatt változhat: kenési viszonyok, felületi nyomás, felületi finomodás, durvulás, kopások, hőhatások és hőtágulás (tűrések változása).
A lokális súrlódási tényező változása a tárcsára jellemző átlagos súrlódási tényező értékét módosítja. A globális súrlódási tényező változása a tárcsákra jellemző súrlódási tényezőknél okoz eltérést, továbbá a rendszer biztonsági tényezőjére és a maximálisan átvihető kerületi erőre van nagy hatással.
A kötelek nyúlása, vagy a tárcsák és kötelek kopása a rendszer szinkronhajtása miatt a tárcsák között sebességkülönbségeket okoz. A többtárcsás hajtásoknál megjelenő túlerők elsődlegesen a tárcsaátmérők változásától és a relatív sebességkülönbségektől függenek. A tárcsaátmérő változásnak három fajtája lehetséges: a tárcsa kopása következtében, a kötél kopása, vagy a kötél megnyúlása miatti relatív átmérő változás és komplex hatások (az előzőek együtt).

1.2.3 Többtárcsás kötélhajtások erőátvitele

Az átvihető maximális kerületi erő növelésének a gyakorlatban legelterjedtebb módja az átfogási szög növelése, amelyet több tárcsa használatával érnek el, továbbá a tárcsáknál a V vagy alámetszett U hornyok alkalmazásásával.
A valós rendszereknél az alkalmazott átfogási szög tárcsánként általában 180˚, a vezető tárcsáknál elterjedt még a 90˚-os átfogási szög alkalmazása is. Ha például a tárcsaszámot 7-re választjuk tárcsánként 180˚-os átfogási szöggel, akkor a teljes rendszer úgy viselkedik, mint ha egy darab 1260˚-os átfogási szögű tárcsát alkalmaztunk volna. A 4.a és b ábrák mutatnak egy-egy példát olyan 7 tárcsás rendszerre, amelynél a maximális kerületi erőt visszük át a csúszás határán a rendszer teljes kiahasználtságánál [14]. A vízszintes tengelyen az átfogási szöget a függőleges tengelyen a kötélerőt ábrázoltuk. Ebben az esetben a hajtásnak nincs tartaléka.
Ha rendszer nem a csúszás határán működik és a maximálisan átvihető kerületi erőhöz képest kisebb erővel üzemel, akkor tartalékkal rendelkezik. Többtárcsás rendszer esetén lesznek tárcsák, amelyek terelőtárcsaként funkcionálnak. A süllyesztés és az emelés esetére mutat egy-egy példát a 6.a és b ábra, ahol a rendszer nincs teljesen kiterhelve [14,26,36].



4. ábra. 7 tárcsás rendszer minden tárcsája 180 fokos átfogási szöggel üzemel, ekkor a teljes átfogási szög 1260˚. A rendszer a csúszás határán van: süllyesztés a) és az emelés b) diagramjai

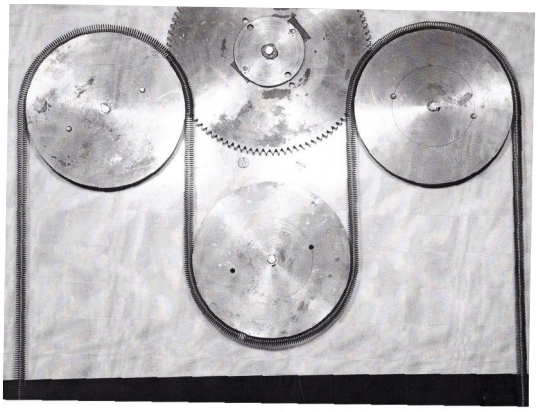


5. ábra. 7 tárcsás rendszer minden tárcsája 180 fokos átfogási szöggel üzemel, ekkor a teljes átfogási szög 1260˚. A rendszer nem csúszás határán van, ezért tartalékkal rendelkezik: süllyesztés a) és az emelés b) diagramjai

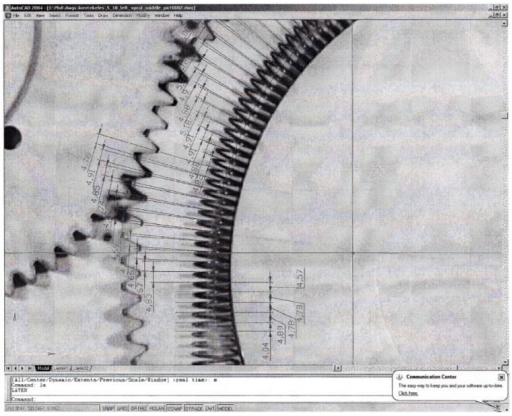
1.2.4 A jelenlegi kutatáson korábban dolgozók munkájának összefoglalása

A Mexikói-öbölben bekövetkezett baleset után Roland Veeret Úr (Casar Drahtseil Werk Saar GMBH) és Dr. Oplatka Gábor professzor (nyugalmazott Professzor ETH Zürick) úgy döntöttek, hogy a balesetet okozó kötélszakadás lehetséges okait meg kell vizsgálni. Dr. Oplatka Gábor Professzor Úr javaslatára ezért Dr. Cselényi József professzor (Miskolci Egyetem Anyagmozgatás és Logisztika Tanszék) és Dr. Barkóczi István (FUX ZRt.) közreműködésével egy ösztöndíjat alapítottak, amelyet elsőként 2002-ben Keresztesi János nyert meg, aki már a diplomamunkájában [36] is a többtárcsás súrlódó hajtások elméletével foglalkozott. A szakmai vezetését Dr. Cselényi József professzor látta el. A szakmai kommunikációt az Egyetem és a Casar cég között, illetve a további szakmai támogatást Dr. Oplatka Gábor professzor vállalta magára. Keresztesi János 3 évet foglalkozott a témával és elsődlegesen a probléma gyakorlati megközelítését tűzte ki célul. A kutatása alatt született meg az ötlet, hogy a kötelet egy olyan médiummal kell helyettesíteni, amely

tulajdonsága hasonló a kötéléhez, de a jelenségeket felnagyítva lehet vizsgálni. Dr. Oplatka Gábor professzor és Cselényi József professzor közös ötletéből kiindulva a kötelek helyett a körszelvényű hengeres csavarrugót választották. A kötélerő, vagy a rugóerő a rugó megnyúlásából a lineáris rugó karakterisztika alapján számolható. Az alap ötlet az volt, hogy minden rugó menet közötti megnyúlást megmérve a teljes rendszerben minden ponton mérhető a kötélerő.
A rugóról készült nagyfelbontású digitális fénykép alapján a pixeltávolságok meghatározhatók. A kamera torzítása és felbontási korlátok figyelembe vételével a teljes rendszerről készíthető egy felvétel, így a pillanatnyi állapot a tárcsákon és az egyenes rugószakaszokban leképezhető.
Az ötlet alapján Keresztesi János tervezett és meg is épített egy 3 tárcsás rendszert. A 3 tárcsás rendszerről készített pillanatkép a 6.a) ábrán látható. A tárcsákat ékszíjjal kötötte össze és villanymotorral hajtotta. A tárcsák horonykialakítása olyan módon történt, hogy a rugó középvonalát a tárcsa széle nem takarhatta, mert a középvonal mentén kívánta vizsgálni az íves szakaszokon is a rugóerőt.



a)

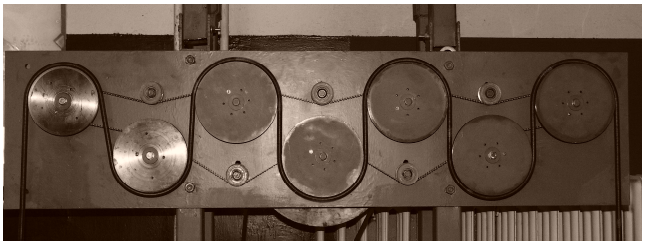


b)

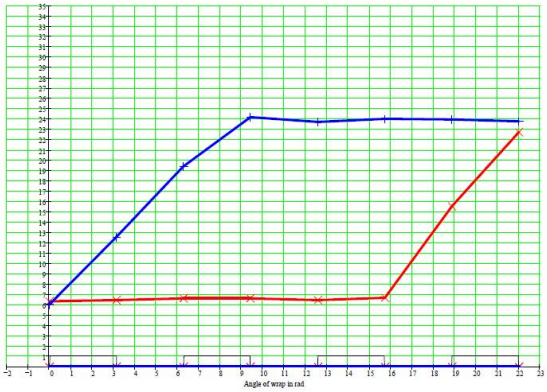
6. ábra. A 3 tárcsás rendszerről készített pillanatkép

A méréseinél megvárta, hogy a kvázi statikus állapot beálljon. Ezt úgy érte el, hogy megjelölte az első tárcsa felfutási pontjánál a rugót. Amint ez a pont elhagyta az utolsó tárcsa lefutási pontját, akkor készített három fényképet. A három fénykép közül kiválasztott egyet, amelyen Adobe Photo Shop képszerkesztő programmal megmérte a pixeltávolságot az összes rugómenet között. A menet távolságok manuális kiértékelése rendkívül hosszadalmas volt.
János az elméleti diagramokat akarta kimérni, stacioner esetben. A kiértékelések az egyenes szakaszon már biztatóak voltak, de az íves szakaszokon sok pontatlanságot és hibát generáltak. A korábbi méréseiből egy kiértékelési eredményt mutat a 6.b) ábra.
Keresztesi János 2005-ben adta tovább a feladatot Otrosinka Tibornak, aki a FUX ZRt-nél dolgozott és ott végezte a kutatást. Dr. Oplatka Gábor professzorral közösen megvizsgálták az előző 3 tárcsás berendezés és a vizsgálati módszer hibáit. Arra a következtetésre jutottak, hogy az íves szakaszokon nem érdemes mérni, mert a rugó középvonalát nehéz megállapítani, ami sok hibát visz a kiértékelésbe. Továbbá a tárcsák számának növelését javasolták a valós rendszerekhez hasonlóan. Otrosinka Tibor ezért egy új 7 tárcsás berendezést épített. Az előző 3 tárcsás rendszerből a tárcsa horonykialakítását, a meghajtás módszerét és a rugót, mint helyettesítő médiumot átvette. A megvalósított rendszerről készített pillanatkép a 7.a) ábrán látható
Az új berendezésnél megnövelt tárcsaszám mellett a nagyobb hosszúságú rugóknak köszönhetően hosszabb futások is kivitelezhetők. A gép elektromos kapcsolási rajzát megkaptam. A Catia CAD szoftverben megkaptam továbbá a 7 tárcsa pozícióját.

A mérést hasonlóan az elődhöz kvázi stacionárius állapot beállása után végezte. A mérés során egy terhelési konfigurációról három képet készített, amelyen mind a 7 tárcsa látható egyszerre. A 7 tárcsás képeknél már egy 5 Megapixeles fényképezőgépet használt. Mind a három fényképet kiértékelte. A kiértékelés során Adope Photo Shop programmal megmérte az egyenes ágaknál 10 rugómenet távolságát. Az íves szakaszokat a korábbi pontatlanságok miatt már nem értékelte ki.



a)



b)

7. ábra. A 7 tárcsás gépről készült pillanatkép a, és egy kiértékelési eredmény Adope Photo Shop és Mathcad programmal

A kiértékelt képek eredményeit a MathCAD programmal jelenítette meg. Egy példát mutat a 7.b) ábra egy elméleti futásra. A vízszintes tengelyen a kötélágakat, a függőleges tengelyen a kötélerőt jelöltük. Vizsgálatai során az elméleti diagramokat mérte ki, illetve a kvázi stacionárius eseteknél bekövetkező állandó jelenségeket. A kutatásban elakadt és a belső erőjáték problémájával kapcsolatban sajnos nem jutott előre.

1.3 Nyitott kérdések és célkitűzés

A kábelfektető hajón működtetett csörlő-rendszerben bekövetkezett kötélszakadás a hajó felborulásához és elsüllyedéséhez vezetett. A kutatásaim során a következő kérdésekre próbáltam egzakt válasz adni:

- Keletkezhetnek extrém feszültségállapotok, illetve túlerők stacionér üzemállapotban?
- Ha igen, akkor milyen paraméterek befolyásolják a legnagyobb túlerő, illetve a legnagyobb kötélerők kialakulását?
- Hogyan és milyen módon előzhetőek meg a jövőbeni balesetek, illetve a kötélerők szempontjából a nem kívánt hatások?

Első lépésként az elődök munkáját és a vonatkozó irodalmakat tekintettem át, hogy a feltett 3 kérdésre választ kapjak. A téma jellegzetessége, hogy speciális esetet vizsgál, ezért kevés a vonatkozó magyar és külföldi nyelvű irodalom. Általánosságban elmondható, hogy mindenki az Euler összefüggést vagy annak egy módosított verzióját alkalmazza. A feldolgozott irodalomból és az elődök munkájából nem tudtam megválaszolni a feltett kérdéseket. A balesetről, ahogy korábban említettem nem kaptam bővebb tájékoztatást.

A három kérdésre csak a többtárcsás súrlódó hajtások belső erőjátékának vizsgálatával adható válasz. Ezért szükséges volt:

- az aktuális 7 tárcsás gép felülvizsgálata és az alapján módosítása
- az elméleti modellezés,

- a mérési és a szimulációs eredményekből általánosítás.

2. A feladat megoldásának módszere

2.1. Az eszközrendszer

2.1.1. Paraméterek

A modellezés szempontjából azon paraméterek lényegesek, amelyek hatással vannak a vonóelemben ébredő erőkre.
Az 1. táblázat mutatja a vizsgálat alapját képző paramétereket. A hajtásban részt vevő elemek közül négy csoportot különböztettünk meg, mint például tárcsa paraméterek, vonóelem paraméterek, a hajtási rendszer paraméterei, vagy környezeti változók.

1. táblázat – A modellezés és a vizsgálatok alapját képző paraméterek

Tárcsák	**A hajtási rendszer**	**Vonóelem**	**Környezet**
Átmérője	Futási iránya	Átmérője	Hőmérséklet
Darabszáma	Fordulatszáma / sebessége	Kopása	Páratartalom
Szögsebessége	Futási ideje	Hossza és nyúlása	
Hajtási módja	Kenése	Szerkezete	
Kopása	Terhelései, teljesítménye	Kenése	
Helyei		Anyaga	
Horony kialakításuk			
Kenésük			
Anyaguk			
Távolságuk (tengely)			

Ha az Euler összefüggés alapján vizsgáljuk meg a fenti felsorolást, akkor látható, hogy a terhelések és a hajtótárcsák átfogási szögei szerepelnek a vizsgálni kívánt jellemzők között. A súrlódási tényezőt a 1. táblázatban felsorolt jellemzők közül a következők befolyásolják: a tárcsakopás, a tárcsa horonykialakítása és a kontaktgeometria, a tárcsa anyaga és kenése, a vonóelem átmérője, a vonóelem kopása, a vonóelem anyaga és szerkezete, a vonóelem külső kenése, a vonóelem sebessége, hőmérséklet és a páratartalom.

2.1.1. A 7 tácsás vizsgáló berendezés továbbfejlesztése

A 7 tárcsás vizsgáló berendezés ismételt hitelesítése azt mutatta meg, hogy a mérések megismételhetőségének pontatlansága túl nagy. Ezért az alapoktól kezdtem el a rendszer újragondolását. Megfogalmaztam, hogy mely rendszert szeretném modellezni. A tárcsa, a vonóelem, a hajtási rendszer és a környezeti változókat összefoglaltam. Megvizsgáltam a korábban kidolgozott vizuális mérési elvet, amelynél hengeres csavarrugót alkalmazunk a kötél helyett. Ez a rugó felnagyítja a megnyúlásokat, amelyek vizuálisan mérhetők.
A korábbi tapasztalatok alapján megterveztem egy új rendszert, amely rugóval és kötéllel is működik (a tárcsák csapnyomását mérve), a valósághoz közelebbi kötélerők használhatók, a tárcsák száma és a tárcsák távolságai változtathatók, a tárcsák hajtásával együtt. Ez a rendszer anyagi okokból nem épült meg, ezért a már meglévő rendszer továbbfejlesztése mellett döntöttem.
Megvizsgáltam az első berendezést annak előnyeivel és hátrányaival együtt. A továbbfejlesztésnél több mint 50 pontot fogalmaztam meg, mint például mérlegsúlyok használatát sószacskók helyett, a megfelelő megvilágítás biztosítása fix kamerapozícióval, vagy egyforma tárcsák gyártatása és

használata, a rugóút növelése, stb. A változtatások után pontosan specifikáltam a tárcsa, a vonóelem, a hajtási rendszer és a környezeti paramétereket. Kidolgoztam a mérési folyamat menetét, amelyet dokumentáltam. Az Adobe Photoshop Programmal történő manuális kiértékelési folyamatot és a mérőrendszert hitelesítettem. A mérés megismételhetőségét és pontosságát bőven az általam elvárt hibahatáron belülre csökkentettem.

2.1.2. Képfeldolgozó program fejlesztése

A manuális kép kiértékelés túl lassú folyamat, ezért a kiértékelés gyorsítására volt szükség. A digitális képek könnyen kezelhetők mátrixokban, ezért a MatLab programot választottam a programkörnyezetnek a gyors mátrixkezelése miatt. A képfeldolgozási irodalmakból három lehetséges megoldási módszert választottam ki, amelyekkel a rugómenetek távolságai megkereshetők és automatikusan számíthatók. A három módszer az éldetektálás, a hasonlóság vizsgálat módszere és a Cepstrum eljárás. Az egyes módszerek elméleti hátterét ismertettem. Minden módszerre kidolgoztam egy algoritmust és egy tesztprogramot. A három módszert összehasonlítottam és súlyozásos módszerrel kiválasztottam a legjobbat. A kiválasztás alapján a Cepstrum eljárás és a hasonlóság vizsgálat bizonyult a két legjobb megoldásnak, amelyek közül a hasonlóság vizsgálatot használtam fel. Bemutattam a programot, amellyel 150x-es gyorsulást értem el az előzőekhez képest. A további nagy előny, hogy a kiértékelés automatikus és pontosabb. A programot hitelesítettem és a hitelesítés abszolút és relatív hibáját összehasonlítottam a manuális kiértékeléssel. A relatív hibát két nagyságrenddel, az abszolút hibát egy nagyságrenddel sikerült csökkenteni.

2.1.3. VEM program fejélesztése

A többtárcsás súrlódó hajtások erőjátékának elemzése bonyolult, a dinamikus hatásokat és jelenségeket nem egyszerű leírni, vagy modellezni. A valóság modellezésénél mindig elhanyagolásokkal is számolni kell. A cél az volt, hogy a kísérleti gép és a valós hajtások erőjátéknak modellezésére alkalmas szoftvert fejlesszek ki, továbbá az erőjáték modellezésére alkalmas algoritmust és szoftvert állítsak elő, amely a mérési eredményekkel összhangban alkalmas a túlerők és egyéb dinamikai jelenségek vizsgálatára.

A hasonló kutatásokat általában az elméleti modellezéssel kezdjük és azt mérésekkel hitelesítjük. Esetünkben a már meglévő gép továbbfejlesztése mellett döntöttem és azzal párhuzamosan kezdtem el az elméleti modellezést.

A dinamika modellezés területén kiemelendő Karolewski B. munkája a szállítószalagok dinamikai jelenségeinek modelljéről [34]. A feldolgozott dinamikai modellezés irodalma [26, 43] és az általános rezgéstan [27] témakörei mellett megvizsgáltam Costello, G.A. munkáit is [11, 12]. A kötél pászmák belső kontaktjainak modellezésére [50], továbbá a kopások szimulálására is fellelhető irodalom [51], ami már végeselemes módszeren alapul, de az adott feladatban nem tud segíteni.

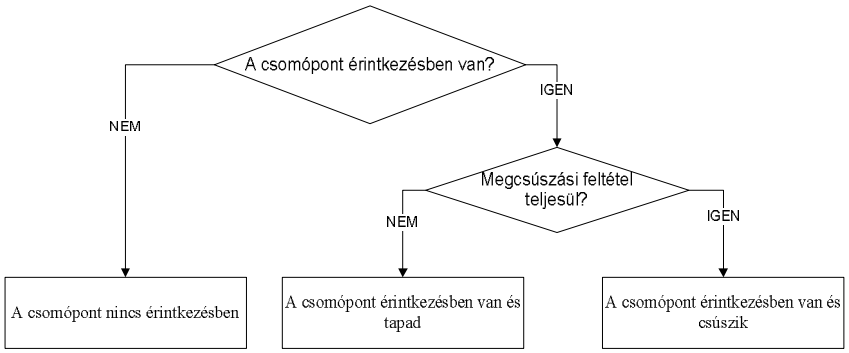
A dinamikus hatások időben történő folyamatos szimulálásnak leírására a végeselem-módszer igen hatékony eszköznek mutatkozik [50,52,53]. A nemlineáris rezgéstanban is egyre több gyakorlati problémára ad pontos és gyors megoldást. A korábbi eljárások a lineáris modellezés kiterjesztésén alapultak és egyedi speciális problémákra nyújtottak közelítést [4, 7]. Nemlineáris analízisnél a pontosság és a sebesség sokkal nehezebben növelhető tulajdonságok, mint a lineáris analízisnél, mert több paramétertől függnek. Fontos szempont a konzisztens kontinuum mechanikai egyenletek és a hatékony végeselemes diszkretizáció használata [18, 35, 46, 54]. A rugalmas anyagviselkedés és a kötélhajtás következtében kialakuló nagy elmozdulások jól modellezhetősége a cél.

Saját modell és a hozzá írt algoritmus elkészítése mellett döntöttem. A program az előzőekben ismertetett elméletnek megfelelően, illetve a kötél és tárcsa érintkezési feltételekkel történő kiegészítés után az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:

- a kötél hajlítási merevségétől eltekintünk,
- a kötelet nagy alakváltozásra képes húzott nyomott rúdelemmel modellezzük,
- a feladatot geometriailag nemlineárisan vizsgáljuk,
- Coulomb-féle súrlódást tételezünk fel a kötél és a tárcsa között.

A kontakt feltételrendszert, amellyel a VEM programunk dolgozik az 8. ábrán foglaltam össze. Az első lépésnél megállapítjuk, hogy a pont érintkezésben van-e. Ha nincs érintkezésben, akkor a megcsúszási feltétel nem értelmezhető. Ha érintkezésben van, akkor a megcsúszási feltétel alapján járunk el.

A többtárcsán átvetett kötél a súrlódások és a tárcsák mozgásából is adódva nagy elmozdulásokat végez, amelyhez nagy alakváltozás is párosulhat. A szimuláció során a konfiguráció lényegesen változik. A kötélrészek érintkezésbe kerülhetnek a tárcsával és ki is léphetnek.



8. ábra. Az érintkezési feladat algoritmusa: a Coulomb féle súrlódás, a csúszás és tapadás figyelembe vétele a kötél és a tárcsa között.

2.2. A mérések általánosítása

Elsőként az indítási jelenségeket vizsgáltam, hogy azokat a kvázi stacionér résztől egyértelműen el tudjam választani. A VEM programnál az indítási szakasz három fő részre bontható: I. felterhelés, II. súrlódási hatás érvényesítése, III. hajtás indítása (Kerületi erő bevezetése).

A 7 tárcsás vizsgáló berendezésnél a felterhelés és a súrlódási hatás érvényesítése egyszerre történik. A vizsgált szakaszokhoz tartozó tranziens jelenségek típusai: I. felterheléskor adódó hullámzás és lecsillapodás, II. súrlódás ráadásból adódó lokális letapadások és utána történő megcsúszások hatásai, és a III. hajtás indításakor keletkező erőfelépülés és kilazulás. Az elvégzett mérések és szimulációk alapján a tranziens jelenségek nem okoznak kötélszakadást.

Összehasonlítottam az elméleti terelési, emelés és süllyesztési eseteknél a mérés, az elmélet és a végeselemes eredményeket. Meghatároztam a relatív és az abszolút hibák mértékét.

Ezután az erőfelépülés jelegét vizsgáltam a terelési terhelési állapotnál. Kimutattam, hogy a pozitív relatív sebességkülönbség hatására két tárcsa között egy dinamikus folyamat alakul ki. A folyamat során folyamatos erőfelépülés következik be, amíg a két tárcsa között a kötélerő eléri az átvihető maximum kerületi erőhöz tartozó lefutó ági erőt. Ekkor a kötél megcsúszik és a kötélerő leépül. Ezután újra kezdődik a felépülési folyamat.

Ha az első tárcsa kisebb átmérőjű, akkor a túlerő a terelési terhelési állapotú tárcsákon továbbterjed, majd a rendszer végén leépül. Kimutattam, hogy a túlerő nagyságát a pozitív relatív

sebességkülönbség nagysága nem befolyásolja. A túlerő nagyságát az Euler összefüggés alapján a le és felfutó ági terhelések, illetve a súrlódási tényező határozza meg.
Egymást követő tárcsáknál a pozitív relatív sebességkülönbségből adódó felépülés-megcsúszás-felépülés hatások összeadódnak és a tárcsákon a maximum átvihető kerületi erőig feszítik a kötelet. Szélsőséges esetben a rendszer eléri a maximum kötélerőt, amelyet még le tud építeni. E fölött már lokális, többtárcsás és rendszermegcsúszások is keletkezhetnek. A megcsúszások helyét megadtam.
A fékezési és emelési eseteknél az egyes hatások az elméleti görbékkel összeadódnak. Az emelési esetnél elég a rendszer elején egy kisebb tárcsa, hogy a túlerő megjelenjen. A fékezési esetnél a felépülés hamarabb kezdődik el. Az emelési és a süllyesztési terhelési állapotoknál megadtam a megcsúszási helyeket és a maximum felépülő túlerő nagyságát. A kritikus eset a hajtás (emelési terhelési állapot), mert ott alakulhat ki leghamarabb túlerő kedvezőtlen feltételek esetén.
Ezután a kilazulás jelenéségét vizsgáltam, ami negatív relatív sebességkülönbség hatására jön létre. A jelenség hasonlít az előbb említetthez, de erőfelépülés helyett kilazulás történik. Ha a rendszer végén van a kisebb átmérőjű tárcsa, akkor a kilazulás nem tud továbbterjedni, mert nincs utána terelési igénybevételű tárcsa. A kilazulás nagysága az Euler összefüggés alapján számolható. A megcsúszások helyét ez esetben is definiáltam. A hajtás és fékezési terhelési állapotok görbéi és a kilazulás jelensége a korábbiak alapján összeadódik. A kilazulás elsődlegesen a megcsúszások miatt veszélyes.
Megvizsgáltam az erőfelépülés és a kilazulás együttes hatását, ha egy kisebb tárcsa a rendszer belsejében van, vagy az eddigiekhez hasonlóan a rendszer végein. A hatások egyeznek az eddigiekkel, amelyek egyszerre jelentkeznek.

2.2.1. Túlerők és kilazulások legnagyobb értékeinek meghatározása

A relatív sebességkülönbségből adódó túlfeszülés, vagy kilazulás a kötél élettartam csökkenéséhez, vagy szélsőséges esetben a kötél szakadásához vezethet. A kritikus paramétereket a kapott mérési és szimulációs-görbék alapján általánosítunk. Az extrém túlerőt öt fő paraméter befolyásolja:

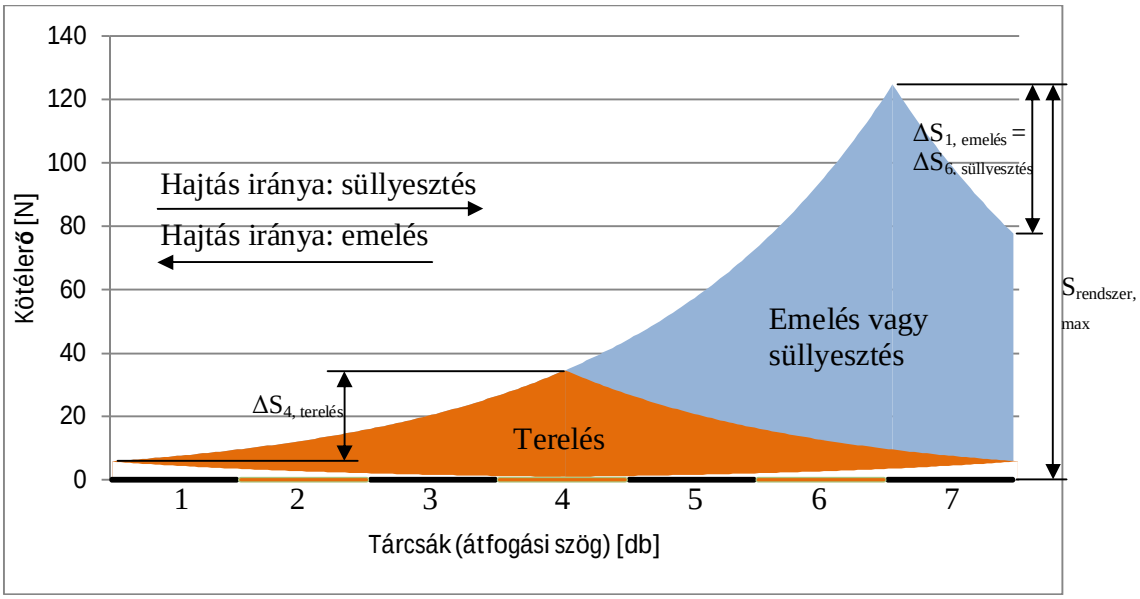
- (1) hajtás iránya, azaz emelés vagy süllyesztés,
- (2) a rendszer tárcsáinak száma, azaz a teljes átfogási szög,
- (3) a fel és a lefutó ági erők,
- (4) súrlódási tényező,
- (5) a rendszer tárcsáinak kopottsága, átmérője és helye (a kötél kopottsága, vagy keresztmetszet csökkenése is ide tartozik).

Az 1-4.-ig paraméterek adják meg a rendszer tartalékát. A rendszer tartalékán azon tárcsákat, vagy tárcsafelületet értjük, amelynél terelési terhelési állapot adott. Ha a rendszer nem rendelkezik tartalékkal, akkor az Euler összefüggés alapján a megcsúszás határán üzemel. Ekkor további túlerő, vagy kilazulás már nem következhet be.
Egy hét tárcsás rendszer általános erőátviteli felületét mutatja be a 9. ábra. A rendszer két tárcsányi tartalékkal rendelkezik. Az általánosítás alapján kapott területek alapján megállapítható, hogy:

- a túlerő és a kilazulás a rendszer tartalékkal rendelkező részén alakul ki,
- a kialakuló túlerő és kilazulás nagysága a rendszer tartalékával arányos,
- az emelési esetnél a legvalószínűbb, hogy kialakul a felfutó ági terhelést meghaladó túlerő, mert akár egy kisebb átmérőjű tárcsa is elég hozzá.

A túlerők és kilazulások nagysága szempontjából a rendszer minél nagyobb tartaléka hátrányos. A tartalékot a megcsúszás ellen tervezik be, ugyanakkor ha például a maximimális kialakuló túlerőnél még nem szakad el a kötél, akkor az erőcsúcsoknál az erőfelépülés-megcsúszás-erőfelépülés és a

kilazulás-megcsúszás-kilazulás ciklusoknál lokális, vagy akár teljes rendszer szintű megcsúszások következnek be.
Az optimális megoldás az, ha több tárcsát és tartalékot hagyunk a rendszerben, ugyanakkor a kötelet az elméleti maximális felfutó ági erőre méretezzük. Ekkor kevésbé valószínű, hogy annyi kopott tárcsa alakul ki, amely meg tudja közelíteni az átvihető maximumot. Továbbá, ha a kötélerő eléri a maximumot, akkor a kötél nem szakad el. Ekkor a periódikus megcsúszásokból egyértelműen azonosítható, hogy tárcsaátmérő probléma van a rendszeren belül.



9. ábra. Erőátviteli terület kéttárcsányi tartalékkal rendelkező hét tárcsás rendszernél, ha negatív és/vagy pozitív relatív sebességkülönbség is lehetséges az emelési, süllyesztési és terelési állapotoknál.

Az általánosítások alapján megvizsgáltam egy ipari feladatot, amelynél a maximum kialakuló kötélerő és a megcsúszási helyek egyszerűen megadhatók.

2.3. Nyitott kérdésekre a válaszok

A célkitűzésénél három kérdést fogalmaztam meg. Az értekezés elsődleges célja az volt, hogy ezen kérdéseket megválaszolja.

2.3.1. Keletkezhetnek extrém feszültségállapotok, illetve túlerők stacionér üzemállapotban?

A kapott mérési és szimulációs eredmények alapján terelési, emelési és süllyesztési terhelési állapotoknál is keletkezhetnek extrém feszültségállapotok. A statikus és konstans erőnövekedés vagy kilazulás közösen az eröfelépülés-megcsúszás-eröfelépülés és a kilazulás-megcsúszás-kilazulás dinamikus ciklusaival is kialakulnak, ha rendszer alap paraméterei és a kopási viszonyok ennek megfelelően adottak. Az extrém hatások közösen a megcsúszások mellett a kötél élettartamot csökkenthetik, vagy szélsőséges esetben kötélszakadást is okozhatnak.

2.3.2. Ha igen, akkor milyen paraméterek befolyásolják a legnagyobb túlerő, illetve a legnagyobb kötélerők kialakulását?

A kritikus paraméterek a 2.2.1. fejezetpontban kerültek bemutatásra.

2.3.3. Hogyan és milyen módon előzhetőek meg a jövőbeni balesetek, illetve a kötélerők szempontjából a nem kívánt hatások?

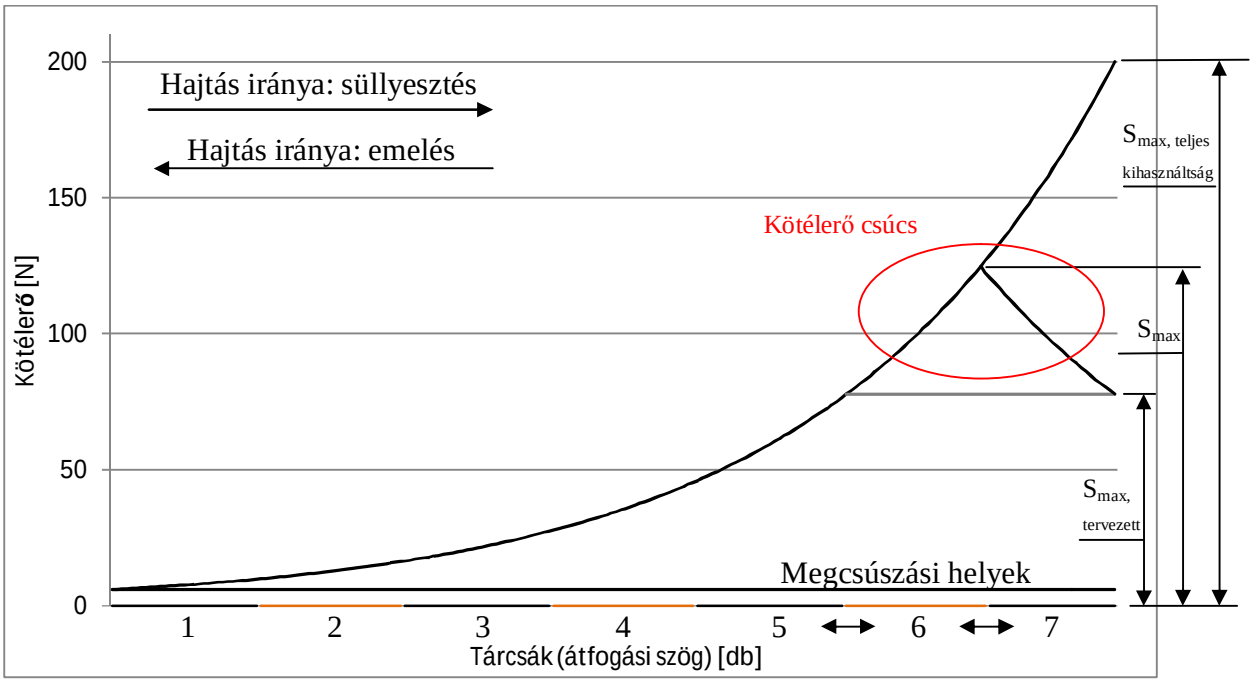
Az instabil rendszerek, vagy a kötélszakadásból bekövetkező balesetek megelőzhetők például újabb kialakítású rendszerek tervezésével, a jelenlegi kialakítású rendszerek méretezése során, a működő rendszerek vizsgálatával és szükség esetén módosításával.

Az újabb kialakítású rendszerek egyik lehetséges megoldása, ha biztosítjuk a tárcsák egymástól független hajtását. Ha a tárcsánkénti hajtást megfelelő hajtásvezérléssel párosítjuk, akkor a tárcsák között megelőzhető a relatív sebességkülönbségek kialakulása a szinkronhajtás következtében. A megoldás tökéletesen orvosolja a kialakuló túlerőből adódó, vagy a megcsúszási problémákat, viszont költségvonzata jelentős.

A jelenlegi kialakítású rendszerek méretezésénél költséghatékonyabb megoldások is lehetségesek. A jelenlegi rendszereket úgy méretezik, hogy a kívánt kerületi erőt továbbítani tudják. Ezért minden esetben rendelkeznek tartalékkal.

A kötélszakadást elsősorban úgy előzhetjük meg, ha a kötelet a lehetséges maximálisan kialakuló kötélerő fölé méretezzük. Egy többtárcsás súrlódó hajtású rendszernél a maximális kötélerőt a lefutó ági erő ismeretében az Euler összefüggéssel számíthatjuk ki, ha a lefutó ági erőt a maximális csörlőzési erőre választjuk és teljes rendszer kihasználtságot tételezünk fel. Ettől nagyobb kötélerő nem alakulhat ki, mert akkor a rendszerünk már megcsúszik.

A 10. ábrán egy hét tárcsás rendszer erőátviteli diagramja látható, ahol a teljes kihasználtsághoz tartozó legnagyobb kötélerőt a $S_{max,\ teljes\ kihasználtság}$. A súrlódási tényezőt és az átfogási szöget állandónak vesszük fel.



10. ábra. Egy általános 7 tárcsás rendszer maximális kihasználtságához tartozó erőátviteli görbe és a kéttárcsás tartalékkal rendelkező rendszer kötélerő csúcsa

Ha teljes kihasználtságra méretezett kötél túl robosztus és nem költséghatékony megoldás, akkor például a már korábban bemutatott két tárcsányi tartalékkal rendelkező rendszer alapján is meg lehet a kialakuló S_{max} maximum kötélerőt határozni. A pontos maximum kötélerő

meghatározásához ebben az esetben ismernünk kell a legnagyobb fel és lefutó ági terheléseket és a rendszer ehhez tartozó tartalékát.
A megcsúszások ellen kevesebbet tudunk tenni, mint a kötélszakadás ellen. A méretezésnél elsődlegesen a 10. ábrán látható kötélerő csúcsra érdemes koncentrálni, mert az erőfelépülés-megcsúszás-erőfelépülés ciklus miatt az 5-7. tárcsáknál indul el a teljes rendszerszintű megcsúszás. Tervezési fázisnál megadható, hogy ezen tárcsák kopásállóbb anyagból készüljenek, így később következhet be a teljes rendszerszintű megcsúszás.
A lokális megcsúszások megelőzésével kapcsolatban méretezési fázisban nem sok lehetőség adott. Bármilyen kis átmérőkülönbség alapján bekövetkezhet, ha adott a relatív sebességkülönbség.
Vizsgáljuk meg a már működő valós rendszereket. Az ipari alkalmazásoknál az első lépés egy egyszerű ellenőrzés, amelynél meg kell nézni, hogy van e látható, vagy hallható lokális, vagy akár teljes rendszer szintű megcsúszás. Ha van, akkor már lehet következtetni arra, hogy a standard erőátviteli görbéhez képest eltérő erőjáték alakult ki a rendszer belsejében. Könnyen észrevehető például egyes kötélágak lengése, vagy kilazulása és megfeszülése, amely ismételten a belső erőjáték problémájára utal. Ezt a vizsgálatot bárki egyszerűen el tudja végezni. A nem megfelelő belső erőjáték drasztikusan csökkentheti a kötél vagy a hajtási rendszer élettartamát.
A valós rendszereket a 10. ábrán bemutatottak alapján lehet ismét ellenőrizni. A méretezésnél javasolt feltételek alapján, ha a kötél kibírja az S_{max} legmagasabb tervezett kötélerőt, vagy az $S_{max,\text{teljes kihasználtság}}$ teljes kihasználtsághoz tartozó kötélerőt, akkor biztosan nem fog elszakadni. Javasolt a teljes kihasználtsághoz tartozó kötélerőre ellenőrzés és szükség esetén kötélcsere, ha az anyagi háttér megengedi azt.
A teljes megcsúszás ellen az erőcsúcshoz tartozó például 5-7. tárcsákat kell ellenőrizni és szükség esetén egyforma átmérőjűre cserélni. Ha a lokális megcsúszások is láthatók, vagy hallhatók, vagy a kötélágak lengése tapasztalható az 5-7. tárcsákon kívül is, akkor az adott helyen érdemes a tárcsaátmérőket ellenőrizni, szükség esetén a tárcsákat cserélni. Amennyiben az alap rendszernél egyforma tárcsákkal kezdtük meg az üzemet, akkor először a lokális kopásokból adódóan csak lokális megcsúszások következnek be. Ha ezen megcsúszásokat figyeljük, akkor a további problémák könnyen megelőzhetőek.
Megoldást jelenthet még egy felügyeleti rendszer kialakítása, amely a bemutatott elméletek alapján megállítaná a hajtást, amikor az kritikus határhoz ér. Ezzel a kérdéssel bővebben a továbbfejlesztés lehetőségeinél foglalkozunk.

3. Az új tudományos eredmények összefoglalása

A többtárcsás súrlódó hajtások erőjátékának elemző vizsgálatára irányuló kutatásaim alapján az alábbi új tudományos eredményekre jutottam:

1. *Kísérleti vizsgáló berendezést fejlesztettem tovább alkalmassá téve a többtárcsás súrlódó hajtások erőjátékának vizsgálatára. A le- és felfutó ági kötélerő mérésére optikai erőmérésre alkalmas, képelemző és kiértékelő programot dolgoztam ki.*

   - Az acélsodrony kötelet, mint vonóelemet egy hengeres csavarrugóval helyettesítettem. Ezzel a kötélágakban fellépő húzóerőket a rugó adott szakaszbeli megnyúlásai alapján határoztam meg.

- Az alap geometriai és kinematikai viszonyok mellett a kötélerők egyben az egyes hajtótárcsák fel- és lefutó-ági húzóerejét adták meg. Ezek között fennálló Euler-féle törvényszerűséget igazolni tudtam.
- A képfeldolgozó program univerzálisan használható olyan képeken, amelyen képrészletek ciklikus ismétlődése alapján lehet kötélnyúlást, illetve kötélerőt meghatározni. A kidolgozott módszerrel diszkrét idejű mintavételezés alkalmazásával lehet dinamikai folyamatokat is elemezni.

2. *Többtárcsás súrlódó hajtások erőjátékának vizsgálatára nemlineáris végeselemes modellt és algoritmust fejlesztettem a vonóelem húzott-nyomott rúdelemekkel történő modellezésével.*
   - Az általam kifejlesztett program alkalmazásával meghatároztam a kötélerő változását az íves tárcsaszakaszokon is. Mérésnél csak a tárcsákat összekötő egyenes kötélágak húzóerejét határoztam meg.
   - Megvizsgáltam az indításkor fellépő tranziens jelenségeket, amelyek a fel- és a leterhelési folyamatok, a súrlódási tényező megváltozásakor, a rendszer indításakor vagy annak leállásakor lépnek fel. Megállapítottam, hogy a legveszélyesebbnek tartott rendszerindítási folyamatnál fellépő tranziens jelenségek okozta többleterők nem haladják meg a kötél szakítóerejét, tehát nem okozzák a kötél szakadását.
   - Megvizsgáltam az egyes csomópontok tapadását, a csúszás határán működő, vagy a megcsúszó csomópontokat. A kötél nem egyszerűen elmozdulást és alakváltozást szenved, hanem a tárcsán súrlódik a kötélszakasz. A kötél és a tárcsa kapcsolatát egy időfolyamatban vizsgálja, amely során a pontok érintkezésbe lépnek illetve kiléphetnek belőle. A tárcsákon kialakuló hordképek alapján meghatározott erőjáték jó egyezést mutatott a méréssel vizsgált terhelési állapotok erőjátékaival.
   - A program alkalmas ideális és reális geometriai- és kinematikai viszonyokkal rendelkező hajtás kvázi statikus és dinamikus állapotainak vizsgálatára.

3. Az elvégzett modellező- és szimulációs vizsgálatok eredményei alapján a kötélszakadás okait feltártam, aminek legfontosabb megállapításai:

   3.1. A mérések és a szimuláció alapján megállapítottam, hogy a relatív sebességkülönbség hatására a kötélben dinamikus többleterők lépnek fel.
   - Az egyes hajtótárcsák között a tárcsaátmérő, a kötélátmérő, vagy a kötél keresztirányú kontrakciója által okozott átmérőkülönbség relatív kerületi sebességkülönbséget okoz.
   - A két szomszédos tárcsa között kialakuló relatív kerületi sebességkülönbség hatására túlfeszülés, vagy kilazulás következik be, amely a megcsúszási határig növeli, vagy csökkenti a tárcsák közötti kötélerőt.

3.2. A dinamikus folyamat periodikus, amely erőfelépülés-megcsúszás-erőfelépülés, vagy erőleépülés-megcsúszás-erőleépülésből folyamatokból áll.

- Amennyiben bármelyik tárcsánál előfordul, hogy a lefutó kötélág kilazulása, vagy túlfeszülése olyan mértékű, hogy a tárcsára jutó kerületi erőt már nem képes átadni, a kötél a hajtás irányával ellentétes mozgásba kezdve megcsúszik (makrocsúszás).
- A megcsúszás következtében a kötélágakban erőkiegyenlítődés történik. Ez a folyamat ostorcsapás-szerűen zajlik le a megcsúszási környezetben.
- A megcsúszás és a kiegyenlítődés befejeztével a felépülési és kilazulási folyamat újrakezdődik.
- Ezek a hatások egymást követő tárcsáknál összeadódnak.
- A hajtás vagy fékezés üzemmódban relatív sebességkülönbségek hatása inverz módon jelentkezik.

3.3. *A megcsúszások hatásai összeadódhatnak és kedvezőtlen esetben teljes rendszer megcsúszások alakulhatnak ki.*

- A hajtótárcsákon felfekvő kötél megcsúszhat azokon a tárcsákon, amelyeknél az Euler-féle megcsúszási feltétel nem teljesül. A kritikus erőjátékú (megcsúszás közeli állapot) tárcsákon a megcsúszások nem szinkronban történnek, ezért azok hatása során erősíthetik, vagy gyengíthetik egymást.
- Ha a jelenségek egymást erősítik, akkor a lokális, egytárcsás, több tárcsás és a teljes rendszer megcsúszása is bekövetkezhet, ami a csőrlő-tárolót is tönkre teheti.
- Megcsúszáskor a kötél a hajtási iránnyal ellentétesen mozog miközben a tárcsára fel- és lefutóági erők kiegyenlítődnek. Amikor a tárcsa és a kötél közötti relatív sebességkülönbség zérussá válik, megkezdődik az erőrendszer ismételt felépülése, amit dinamikus többleterők is kísérnek.

3.4. Meghatároztam egy általános hajtási, vagy fékezési rendszerre megadható erőátviteli határgörbét, vagy un. határterületet, amelyekkel a maximum túlerő és kilazulás megadható.

- A rendszer hajtási vagy fékezési tartaléka (amelyet a mozgatás iránya, tárcsaszám, átfogási szögek, fel- és lefutó ági terhelések, illetve a súrlódási tényezők határoznak meg) mellett a tárcsáinak kopottsága, átmérője és helye (a kötél kopottsága, vagy keresztmetszet csökkenése is ide tartozik) adja meg, hogy hol keletkezik túlfeszülés, vagy kilazulás.
- Csak terelő funkcióval is rendelkező hajtott, vagy fékezett tárcsán keletkezhet túlerő, vagy kilazulás. A rendszer tartalékán maximum akkora kötél túlfeszülés, vagy kilazulás alakulhat ki, amelyet a tartalék maga is le, vagy fel tud építeni megcsúszás nélkül.

4. *A mérések és a szimulációk igazolták a többlet erők megjelenését, amiket elsősorban a relatív sebesség-különbségek és a rendszer fel- és lefutóági erői határoznak meg. A megcsúszás helyei is definiálhatóak, amelyek lehetnek lokális, egytárcsás, többtárcsás és teljes rendszer megcsúszások is. A legnagyobb túlerő emelési terhelés állapotnál keletkezik, ha a rendszer elején pozitív relatív sebességkülönbség van, és a rendszer rendelkezik tartalékkal.*

4. Summary

According to my research about the internal force game of multi sheave friction drives the following new scientific results can be highlighted:

1. *An experimental measuring system has been further developed to be able to analyze the forces game of multi sheaves friction drives. An optical image processing and analyzer program has been developed to measure and evaluate the tensile force in the incoming and outgoing wire ropes branches.*
   - The steel wire rope (as a traction element) is replaced with a cylindrical helical spring. With this replacement the tensile force in the branches can be defined based on the applied elongation.
   - The tensile force in the branches has determined the incoming and outgoing tensile forces at the sheaves at the base geometrical and kinematical configuration. Between the incoming and outgoing tensile forces the Euler' formula has been verified.
   - The image analyzer program can be universally used on images where the cyclical repetition of image parts determines the rope elongation and rope tensile force. Using discrete time sampling the dynamic processes can be analyzed with this developed method,

2. *A nonlinear finite element model and algorithm have been developed to model the force game of the multi sheave friction drives using truss elements.*

   - The self developed program can determine the tensile force variation in the wire rope along arc part of the sheave too. At the measuring the tensile force has been determined only in the straight branches between the sheaves.
   - The starting transient effects which can be occurred by giving or removing the loads, variation of the coefficient of friction or starting or stopping the driving system were examined. According to the investigation the additional forces at the starting process (which considered as the most dangerous case) due to transient phenomena do not exceed the tensile strength of the rope, so it does not cause the breakage of the rope.
   - The contact status of the nodal points like sticking, being on the limit of sliding and sliding has been examined. The wire rope is not only deforming and displacing, so a friction has been applied on the section in contact. The contact status of the rope and the sheave is checked and during the time these points can come into contact or leave the contact. The force game based on the contact configuration on the sheaves was equal with the force game given by the measuring at various load conditions.
   - The program can be used to analyze the quasi static and dynamic behavior of driving systems with ideal and realistic geometrical and kinematical conditions.

3. The possible causes of the wire rope breakage have been revealed by FEM simulation and measurements with the following conclusions:

3.1. Based on the measurements and the simulation results dynamical extra tensile force generates in the wire rope due to the relative speed difference between the sheaves.

- Because of the diameter differences caused by the diameter of the sheaves, rope or rope contraction a relative speed difference is generated between two sheaves.
- The relative speed difference between two sheaves causes continuous strengthening or relaxation of the rope till the tensile strength between the sheaves reaches the limit of sliding.

3.2. The dynamical process is periodical, which consists of tensile force increasing – slipping – tensile force increasing or tensile force decreasing – slipping – tensile force decreasing processes.

- If the strengthening or relaxation of the tensile force of the rope branches is greater than the transferable maximum tensile force, a slide (macro-slide) is starting up against the direction of the drive.
- After the sliding and the equalization process are finished the tensile force strengthening or relaxation is starting up again.
- causes a very quick tensile force equalization in the wire rope branches. The sliding process happens rapidly in the sliding area.
- At the end of the sliding the difference in the circumferential velocities is eliminated and a new force equilibrium state will be built up.
- These effects are added together at the sheaves after each other.
- In driving or breaking operation mode the influence of these relative speed differences are occurring inversely.

3.3. The influences of the slipping can be added together and in worst case can lead to a whole system slipping.

- The wire rope can slip or slide on the driven sheave when the Euler's slip condition is not satisfied. These slipping will occur at the sheaves with critical load conditions (near to slip) not in the same time, so their influences can strengthen or weaken each other.
- If the influences are strengthening each other then a local sliding, one sheave sliding, more sheaves sliding or the whole system sliding can happen that can lead to the damage of the wire rope storage system.
- During the slide the wire rope will move against the driving direction and the incoming and outgoing tensile forces will be equalized. When the relative speed difference between the wire rope and the sheave become zero, then the force game is restarting accompanied by dynamic excess forces.

3.4. A force transfer limit curve and area have been determined for a general driving or breaking system which can show the maximum overstretching or relaxation.

- The place where strengthening or relaxation of the rope is starting up is determined by the reserve of the system (direction of drive, number of sheaves, wrap angle, the loads in the incoming and outgoing branches and the coefficient of friction), the wear, place and the exact diameter of the sheaves and the cross contraction and wear of wire rope.
- Tensile force strengthening or relaxation can be occurred only on a driven or braked sheave which has a guiding function too. The maximal strengthening or relaxation of the wire rope cannot be higher than the actual system reserve can equilibrate without any slide.

4. The measurement and simulations are justified the presence of additional tensile forces which depends on the relative speed difference and the incoming and outgoing branch tensile forces.
   The slipping location can be defined, which can be local slipping, one sheave slipping, many sheave slipping or whole system slipping as well. The biggest overload can be occurred in driven (lifting) case when there is a positive relative speed difference in the beginning of the system and the system has a reserve from the transferable force.

5. Továbbfejlesztés lehetőségei

A bemutatott kutató munka, az elvégzett vizsgálatok eredményei és a végrehajtott mérések tapasztalatai alapján a következő területeken fejleszthető tovább:

- Új paraméterek hatásainak a vizsgálata. Ilyen vizsgálat lehet a nem hajtott ellentárcsák egymástól való távolságának a változtatása, amelynek következtében a ferde (srég) kötélfelfutásból eredő nyomatékok, a kötélrezgések és a dinamikus igénybevételek is vizsgálhatóak.

- A bemutatott új vizsgáló rendszer megépítése, amellyel lehetővé válik a hengeres csavarrugó kiváltása acélsodrony kötéllel, továbbá a támasztásoknál fellépő reakcióerők mérésére alkalmas kialakítással a csapsúrlódási- és a kötélhajlítási veszteségek is figyelembe vehetőek a terhelés-változtatások esetén.

- Az automata képfeldolgozó program elsődleges továbbfejlesztési iránya a megfelelő felhasználóbarát felület kialakítása.

- A végeselemes szimulációs program egy lehetséges továbbfejlesztési iránya lehet a kopások szimulálása is, amelyhez jól használhatóak az Archard által kidolgozott elméletek. A hajlítási merevség figyelembe vétele is további fejlesztési potenciál a megfelelő felhasználói felület kialakításával együtt. Ez a kérdéskör specialitásai miatt a CAD rendszerekkel történő kooperációt feltételezi és ezért nagy kapacitást igényelhet.

- A gyakorlat számára fontos feladat egy állapotfelügyelő rendszer kiépítése, amely alkalmazza az általam kidolgozott képfeldolgozó és VEM programokat, és az archivált adatok elemzésével az üzemeltetési és a karbantartási rendszer megbízhatósága jelentősen javítható.

A disszertációban hivatkozott irodalomjegyzék

[1] Badics T., Magyar I., Témavezetők: Dr. Cselényi József: Parabolikus és Kúpos Súrlódó hajtások méretezése, Oktatási segédlet, Miskolc 1970

[2] Barkóczi I.: Sodronykötél és huzal, FUX ZRt, Miskolc 1996

[3] Bathe K.-J.: Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996

[4] Béda Gy., Kozák I., Verhás J.:Kontinuummechanika, Akadémiai Kiadó, 1995

[5] Bercsey T., Döbröczöni Á., Dupcsák Zs., Horák P., Kamondi L., Kelemen T., Péter J., Tóth J.: Terméktervezés és fejlesztés, Phare TDQM, Budapest 1997

[6] Bosznay Á.: Műszaki rezgéstan, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962

[7] Bucher O. G.: Drahtseile und ihre Herstellung

[8] CASAR Drahtseilwerk Saar GmbH: www.casar.de

[9] Costello G. A., Asce M.: Lange Deflections of helical spring due to bending

[10] Costello G.A., Asce M., Butson G. J.: Simplified Bending Theory for Wire Ropes

[11] Czap L.: Képfeldolgozás, Miskolc 2007

[12] Czitary E.: Seilschwebebahnen, Springer-Verlag, Wien 1962

[13] Csekő B.: Egykiterjedésű redukált hajlékony vonóelemek vizsgálata, Oktatási segédlet, Miskolc 1987. Száll. 89-103. N.M.E.

[14] Dékány L., Frank E.: Acélkötelek, Miskolc 1963

[15] Eder W. E.: Case Study in Design Engineering, CDEN-RCCI Conference, Toronto, 2006

[16] Esmailzadeh E., Nakhaie-Jazar G.: Periodic solutions of mathieu-duffing type equetion, International Journal of Non-linear Mechanics, 32(5), 1997

[17] Feyrer K.: Wire ropes, Tension, Endurance, Reliability, Springer Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 10 3-540-33821-7, ISBN 13 978-3-540-33821-5

[18] FUX ZRt.: www.fux.hu

[19] Gácsi Z.: Sztereológia és képelemzés, ISBN 963 861 3769, Egyetemi tankönyv 2001

[20] Gonzalez R. C., Woods R. E., Edding S. L.: Digital Image Processing Using Matlab, Prentice Hall, 2004, ISBN 0-13-008519-7

[21] Gonzalez R. C., Woods R. E.: Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-130-94650-8

[22] Harrison A.: Stress front Velocity in Elastomer Belts with Bounded Steel Cable Reinforcement, Conveyor Belt Technology, Australia, ISBN: 0-87849-068-X

[23] Hartog J.P.: Mechanical Vibrations. Mcgraw-Hill Book Company, INC., New York Toronto London, 1956

[24] Heumann: Zur Frage des Ausgleiches von zweirilligen Seilgetrieben, Fördertechnik und Frachtverkehr

[25] Kaderják Gy., Monostory L., Szabó J.: Sodronykötelek kenése, Miskolc 1994

[26] Kaderják Gy.: Drótkötelek élettartamának növelése, a korszerű gyártástechnológia, a helyes szerkezet megválasztása az üzemeltetési viszonyok alapján, Miskolc 1975

[27] Kaderják Gy.: Sodronykötél-szerkezetek kialakulása és tendenciája napjainkig, Miskolc 1982

[28] Karolewski, B.: Modell der dynamischen Erscheinungen im Förderband. (Szállítószalag dinamikai jelenségeinek modellje), Deutsche Hebe- und Fördertechnik, 36. K. 9. sz. 1990. P. 68-73

[29] Kaunderer H.: Nichtlineare Mechanik, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1958

[30] Keresztesi J.: Többtárcsás kötélhajtásoknál fellépő belső erők elméleti és kísérleti meghatározása, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, Miskolc 2002.

[31] Kiss L., Barkóczi I.: Vibration test of overhead strands developed in wire works D4D, Anyagvizsgálók kongresszusa, Budapest 1992

[32] Kiss L., Barkóczi I.:Ermüdungsfestigkeit - Messung von Drahtseilen Vorschung, Herstellung und Anwendung der Drahtseilen Konferenz, Kosice 1996

[33] Knoll I.: Szíj-, lánc-, kötél- és dörzshajtások. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986

[34] Lévai I, Cselényi J.: Anyagmozgatás és Gépei II, Tankönyvkiadó Budapest 1988

[35] Lévai I.: Anyagmozgatás és Gépei I, Tankönyvkiadó Budapest 1977

[36] Lévai I.: Anyagmozgatás és Gépei, Oktatási segédlet, Tankönyvkiadó Budapest 1970

[37] Ludvig Gy.: Gépek dinamikája, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1974

[38] MathWorks Matlab Help

[39] Minorsky N. Non-linear oscillations. D. Van Nostrand, Princeton-New Jersey, 1962

[40] Németh J.: Gumihevederes szállítószalagok indítási jelenségeinek vizsgálata, Oktatási segédlet, Miskolci Egyetem ALT, 2001.

[41] Niemann, G.: Machinenelemente, Springer Verlag, Berlin, 1950

[42] Oplatka G.: Seilbahnen I.

[43] Páczelt I, Beleznai R: Nonlinear contact-theory for analysis of wire rope strand using high-order approximation in the Fem Computers & Structures 89: pp. 1004-1025. Paper 10.1016/j.compstruc.2011.01.011. (2011)

[44] Páczelt I., Baksa A., Szabó T.: Állandósult kopások numerikus vizsgálata. In: Dr Csibi Venczel-J (szerk.) OGÉT 2010-XVIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Baia Mare, Románia, 2010.04.22-2010.04.25. (OGÉT) Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 23-27.

[45] Páczelt I., Mróz Z.: Variational approach to the analysis of steady-state thermo-elastic wear regimes. International Journal for Numerical Methods in Engineering 81:(6) pp. 728-760. (2010)

[46] Páczelt I.: Végeselem-módszer a mérnöki gyakorlatban I. Kötet, Miskolci Egyetemi Kiadó,1999, 450 p.

[47] Patkó Gy. Közelítő módszer nemlineáris rezgések vizsgálatára. Kandidátusiértekezés, Miskolci Egyetem, 1984

[48] Pattantyús Á. G.: A gépek üzemtana, Tankönyvkiadó, Budapest, 1950

[49] Pitas I.: Digital Image Processing Algorithms and Applications, 2000, ISBN 0-471-37739-2

[50] Ponomarjov Sz. D.: Szilárdsági számítások a gépészetben, 6. kötet, Rezgések, ütések, Műszaki könyvkiadó, Budapest

[51] Pratt W. K.: Digital Imge Processing, 2001, ISBN 0-471-37407-5

[52] Rao K.R., Hwang J.J.: Techniques & Standards for Image Video & Audio Coding, Prentice Hall, 1996, ISBN 0-13-309907-5

[53] Robol A.: Analysis of traction winch performance, Desk research. 2004 nov. TUDelft

[54] Sante R., Revel G. M., Rossi G.L.: Measurment techniques for the acoustic analysis of syncronous belts, Measurement Science and Technology, 11,1463, 2000

[55] Schneider F., Lang G.: Stahldraht, Herstellung und Anwendung 1983

[56] Smeets P.J.H.M., Vlasblom M.P., Weis J.C.: Latest improvements in HMPE rope design for steel wire rope applications,OIPEEC Conference Stuttgart 2009

[57] Sonka M., Hlavac V., Boyle R.: Image Processing, Analysis and Machine Vision, ISBN 0-534-95393-X

[58] Terplán Z. Gépelemek II/2. Tankönyvkiadó, Budapest 1978

[59] Valasek I.: Tribológigi kézikönyv, Tribotechnik kft., Budapest 1996

[60] Vámos E.: Gépek és gépelemek súrlódása, kopása, kenése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1983

[61] Vőneky Gy.: Vizsgálatok gumihevederes szállítószalagok indítására, Miskolc 1972

[62] Vörös, J.: GÉpelemek II., Tankönyvkiadó, Bp., 1977. p. 473-476

Publikációk az értekezés témájában

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent lektorált szakcikk

[MA 1] **Malik A.,Barkóczi I., Németh J., Oplatka G.**, The causes of build-up process of the extreme tensile force and its definition by micro-modelling, 15th International Conference of Investigation,production and use of steel ropes conveyors and hoisting machines 2008, Page:96-100 (5 pages) ISSN num: 1451-107X

[MA 2] **Malik A., Czap L., Németh J.**, The automatization of visual measuring process of tensile forces in the branches of multi sheaves friction drives by the Matlab Image Processing Toolbox Program, CADAM 2008, Krk - Croatia, Page:251-260 (9 pages), ISSN num: 1846-5900

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent lektorált szakcikk

[MA 3] **Malik A., Németh J.**, Introduction and validation of a 7 sheave examiner machine. ALS - Advanced Logistic Systems: Theory and Practice, HU ISSN 1789-2198, 143-149.oldal (7 oldal)

[MA 4] **Malik A., Németh J.**, Egy és többtárcsás súrlódó kötélhajtások. A Dunaújvárosi Főiskola Közleményi XXX/1. A műszaki és Természettudományi Konferencia és az Informatikai Konferencia előadásai 65-70. oldal (5 oldal) ISSN 1586-8567

[MA 5] **Malik A., Németh J.**, 7 tárcsás vizsgáló berendezés továbbfejlesztése: okok, szempontok és az eredmény. 2008/10-11 GÉP LVIII. évfolyam 90-93. oldal (4 ol.dal) ISSN 0016-8572

[MA 6] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtásnál fellépő extrém igénybevételek DEBRECENI MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK: A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Műszaki Főiskolai Kar Tudományos lapja, DE ATC MFK, 2008/1. kiadvány, Oldal 37-44 (8 oldal): HU ISSN 1587 – 9801

[MA 7] **Malik A., Czap L., Németh J.**, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania),IX ENELKO – XVIII: SzámOkt, Oldal 38-44 (7 oldal): ISSN szám: 1842-4546 „Többtárcsás súrlódó hajtás kötélágaiban mért húzóerő vizuális mérésének autómatizálása.”

[MA 8] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtás erőjátékának elemzése mikro-modellezéssel, OGÉT 2008, Műszaki Szemle CAD szekció, Oldal 250-254 (5 oldal): ISSN szám: 1454-0746

[MA 9] **Malik A., Németh J.**, Kötéltárcsa koptató gép tervezésének eredményei, továbbfejlesztésének lehetőségei, GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXIII. ORSZÁGOS SZEMINÁRIUMA 2007, Miskolc

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent nem lektorált szakcikk

[MA 10] **Malik A., Németh J.**, Introduction and validation of a 7 sheave examiner machine. ALS - Advanced Logistic Systems: Theory and Practice, HU ISSN 1789-2198, 143-149.oldal (7 pages)

Tudományos közlemény, idegen nyelvű lektorált konferencia kiadványban:

[MA 11] **Malik A., Németh J.**, Analyse des Kraftspiels eines Mehrscheibenreibradantriebs mittels einer Mikromodellierung, 16. INTERNATIONALE KRANFACHTAGUNG 2008, (Von innovativer Krantechnik bis Virtual Reality), Institut für Logistic und Materialflusstechnik, Magdeburg, Oldal: 161-169 (8 oldal), ISBN szám: 978-3-930385-67-6

[MA 12] **Malik A., Németh J.**, The result of developing and building of a many sheaves cable system analyzer machine and a sheave-wear machine.,Design, Fabrication and Economy of Welded Structures 2008 International Conference Proceedings 24-26 April 2008 Section 13: Applied Mechanics, Page 555-562 (8 pages) ISBN szám: 978-1-904275-28-2

Tudományos közlemény, magyar nyelvű lektorált konferencia kiadványban:

[MA 13] **Malik A., Németh J.**, Erőhatások elemzése modellezéssel többtárcsás súrlódó hajtású csörlőrendszernél,ORSZÁGOS EMELŐGÉP-ÜZEMELTETŐI ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI KONFERENCIA, (OREMBIK 2008) 2008 június 25-27, Nyíregyháza

Tudományos közlemény, idegen nyelvű nem lektorált konferencia kiadványban:

[MA 14] **Malik A., Jármai K., Németh J.**, Optimization methods which can be used at Wire Rope Production (Cost and Time), XXIII. microCAD 2009 International Scientific Conference 19-20 March 2009 Section K: Machine and Construction Design, Page 53-58 (5 pages)

[MA 15] **Malik A., Németh J.**, Examination of the Influence of One Sheave with Less Diameter by Multi Sheaves Friction Drives, XXIII. microCAD 2009 International Scientific Conference 19-20 March 2009 Section K: Machine and Construction Design, Page 47-52 (5 pages)

[MA 16] **Malik A., Németh J.**, Planning of Experiments to Analyze the Influences of the Parameters to the Force Increasing in Many Sheaves Friction Drives, MICROCAD 2008, Miskolc

Tudományos közlemény, magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadványban:

[MA 17] **Malik A., Németh J.**, Speciális tulajdonságokkal bíró CASAR kötelek használata a magyar iparban. WICO 2008 Konferencia kiadvány 22-26.oldal

[MA 18] **Malik A., Németh J.**, Mechanikus csörlőrendszereknél a kötélszakadáshoz vezető kritikus paraméterek WICO 2008 Konferencia kiadvány 27-32.oldal

[MA 19] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás kötélrendszerek erőjátékának elemzése szinkronhajtásnál, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem, 2007.11.13. pp 90-96

[MA 20] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtásnál az eltérő tárcsaátmérők hatása a húzóerő alakulására, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIII. ISBN szám: 978-973-8231-75-7, 2008 Kolozsvár

Szakmai tudományos előadás idegen nyelven

[MA 21] **Malik A., Barkóczi I., Németh J., Oplatka G.**, The causes of build-up process of the extreme tensile force and its definition by micro-modelling, VVaPOL 2008 (7-10th October 2008, Podbanské - Slovakia),

[MA 22] **Malik A., Czap L., Németh J.**, The automatization of visual measuring process of tensile forces int he branches of multi sheaves friction drives by the Matlab Image Processing Toolbox Program, CADAM 2008 (2008.szeptember 16-20), Krk - Croatia,

[MA 23] **Malik A., Németh J.**, The result of developing and building of a many sheaves cable system analyzer machine and a sheave-wear machine., DFE 2008 (Design, Fabrication and Economy of Welded Structures), 2008. április 24-26, Miskolc:

[MA 24] **Malik A., Németh J.**, Planning of Experiments to Analyze the Influences of the Parameters to the Force Increasing in Many Sheaves Friction Drives, MICROCAD 2008, Miskolc

[MA 25] **Malik A., Károly J., Németh J.**, Optimization methods which can be used at Wire Rope Production (Cost and Time) , Microcad 2009, Miskolc

[MA 26] **Malik A., Németh J.**, Examination of the Influence of One Sheave with Less Diameter by Multi Sheaves Friction Drives, Microcad 2009, Miskolc

Szakmai tudományos előadás magyar nyelven

[MA 27] **Malik A., Németh J.**, Építészeti kötelek WICO 2008 DRÓTKÖTÉLKONFERENCIA, Miskolc: 2008. november 28, 14:45-15:00

[MA 28] **Malik A., Németh J.**, Mechanikus csörlőrendszereknél a kötélszakadáshoz vezető kritikus paraméterek WICO 2008 DRÓTKÖTÉLKONFERENCIA, Miskolc: 2008. november 28, 14:00-14:15

[MA 29] **Malik A., Németh J.**, Speciális tulajdonságokkal bíró CASAR kötelek használata a magyar iparban. WICO 2008 DRÓTKÖTÉLKONFERENCIA, Miskolc: 2008. november 28, 13:30-13:45

[MA 30] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtás erőátviteli diagramját befolyásoló paraméterek vizsgálata. DOKTORANDUSZOK FÓRUMA, 2008. november 13, Miskolc: 2008. november 13, 14:40-15:00, előadás:

[MA 31] **Malik A., Németh J.**, Egy és többtárcsás súrlódó kötélhajtások. TUDOMÁNY HETE A DUNAÚJVÁROSI FŐISKOLÁN 2008, 2008. NOVEMBER 10-14.., DUNAÚJVÁROS: 2008. november 10, 15:20-15:40

[MA 32] **Malik A., Németh J.**, Vizuális erőmérés automatizálása és továbbfejlesztése 7 tárcsás vizsgáló berendezésnél, GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXIV. ORSZÁGOS SZEMINÁRIUMA 2007 november 6-7., Miskolc: 2008. november 6, 16:20-16:40, előadás

[MA 33] **Malik A., Czap L., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtás kötélágaiban mért húzóerő vizuális mérésének autómatizálása. IX. ENELKO – XVIII. SzámOkt Nemzetközi Energetika-Elektronika és Számítástechnika Konferencia (International Conference on Energetics-Electrical Engineering and Computer Science), 2008. október 9.-12, Csíksomlyó: 2008. október 11, Irányítástechnika, méréstechnika szekció

[MA 34] **Malik A., Németh J.**, Erőhatások elemzése modellezéssel többtárcsás súrlódó hajtású csörlőrendszernél,ORSZÁGOS EMELŐGÉP-ÜZEMELTETŐI ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI KONFERENCIA 2008, (OREMBIK 2008), Nyíregyháza

[MA 35] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás súrlódó hajtásnál fellépő extrém igénybevételek kimérése, Műszaki tudomány az Észak Alföldi Régióban 2008, Debrecen 2008.05.07

[MA 36] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás kötélrendszerek erőjátékának elemzése szinkronhajtásnál, DOKTORANDUSZOK FÓRUMA 2007, Miskolc

[MA 37] **Malik A., Németh J.**, Többtárcsás kötélrendszer erőjátékának vizsgálatára alkalmas gép tervezése, GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXIII. ORSZÁGOS SZEMINÁRIUMA 2007, Miskolc

[MA 38] **Malik A., Németh J.**, Kötéltárcsa koptató gép tervezésének eredményei, továbbfejlesztésének lehetőségei, GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXIII. ORSZÁGOS SZEMINÁRIUMA 2007, Miskolc