

AUTOMATIZÁLT DARU TEHERLENGÉSE CSILLAPÍTÁSÁNAK EGY LEHETSÉGES MÓDJA

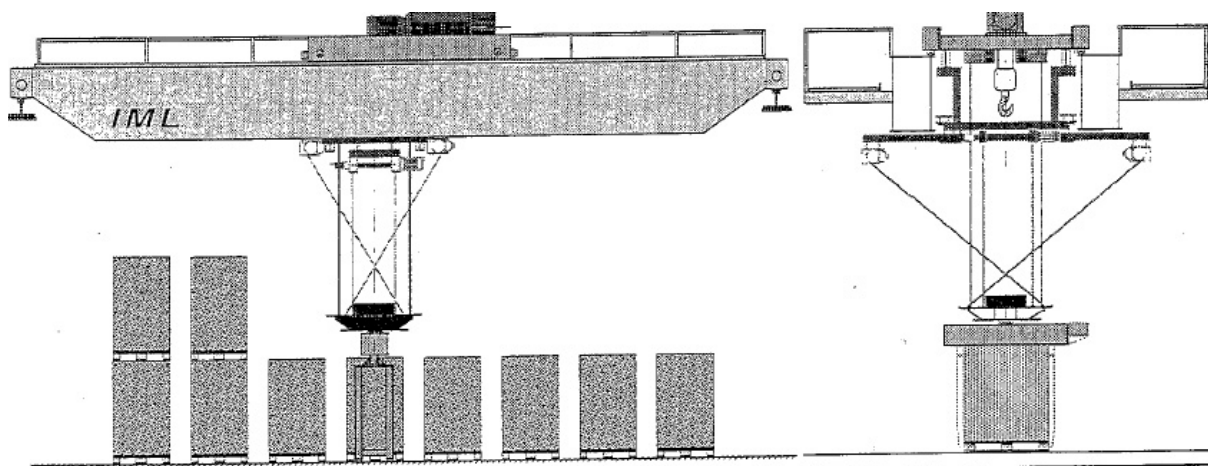
*Dr. Illés Béla, tszv. egyetemi tanár; Dr. Németh János, egyetemi docens
Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék*

BEVEZETÉS

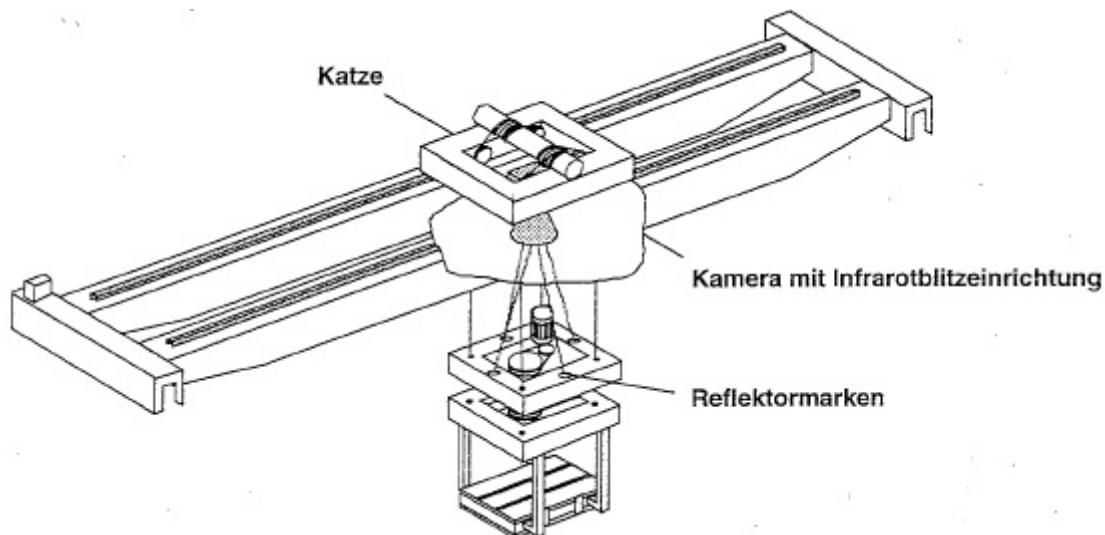
Az automatizált daruk pozicionálási pontosságát alapvetően a kötélén függő teher ingalengésének csillapítása határozza meg. A Magdeburgi Otto-von-Guericke Egyetemen kifejlesztett [3.] segédköteles lengéscsillapítási rendszert vizsgáljuk. Megfogalmazzuk a daru ingalengését leíró mozgástörvényt, amelynél a lengés csillapítását egy segédkötézzel biztosított csillapító erő szolgáltatja. Azt az egyszerű esetet elemezzük, amikor a lengés sebességével ellenfázisban ható, állandó amplitúdójú erővel történik a lengés fékezése. Felvett adatok esetén bemutatjuk, hogyan lehet a maximális kilendülési szöget, valamint a fékezőerő nagyságát meghatározni. A fékezőerőt olyan nagyra kell választani, hogy ne tudjon periodikus lengés kialakulni, vagyis a lengés aperiodikus legyen.

AZ INGALENGÉS CSILLAPÍTÁSÁNAK EGY HATÉKONY MÓDSZERE

A daruk automatizálásánál a kihívás nem a szenzorálás, hanem a teherlendések szabályozott csillapításának megvalósítása, ugyanis a pozicionálást alapvetően a lengések csillapítása határozza meg. Természetesen az indítási és a fékezési jelenségek szabályozása is ebbe a kérdéskörbe tartozik, de ezekkel, mint szabályozási feltételekkel nem kívánunk foglalkozni. Az ingalengés időállandója elsősorban a kötélen hosszától függ. A lengési amplitúdó, pedig a lengő rendszerbe betáplált kinetikus energiától, valamint a csillapítóerőtől. Kézenfekvő tehát, hogy a lengések amplitúdóját csillapítsuk. Ennek egyik hatásos módszere a függesztő kötélet kiegészítéseként olyan ferde kötélet alkalmazása, amellyel a kilendüléssel ellentétes irányú visszatérő erő indukálható. A kötélevetetés egy lehetséges kialakítását szemlélteti a 1. ábra, amelyet a Magdeburgi Otto-von-Guericke Egyetem IML intézete fejlesztett ki automatikus tömbtároló rendszer darus kiszolgálására.



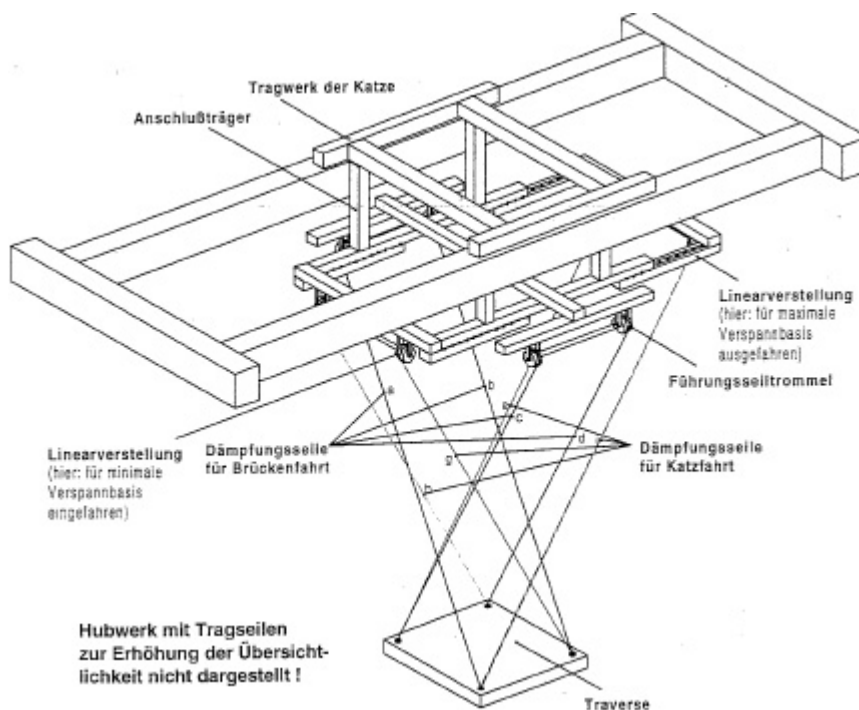
1. ábra Segédköteles automatizált daru tömbtároló kiszolgálására



2. ábra Pozicionálás infrakamera alkalmazásával

A teher pozicionálását egy infrakamera segítségével oldják meg. A fénysugarakat 4 db reflexiós felületre irányítják és a visszavert sugarak segítségével állapítják meg, hogy milyen helyzetváltozás történt. A leképezett eltérések segítségével a szabályzó kötéletben ellenerőket hoznak létre a lengések fékezésére. A térbeli segédkötélet vezetését szemlélteti a 2. ábra, amelyen látható, hogy a két jellemző irányban történő haladás során ébredő lengéseket páronként párhuzamosan

vezetett kötélzettel tudják kompenzálni. Ennek megfelelően 8 kötélággal lehetőség adódik a teljes kompenzációra. A csavaró lengések kompenzálása úgy történhet, hogy a kötélágakban nem egyforma kötélterőt állítanak be, ezzel a traverz és a mozgató teher közös súlypontjára ellenfázisú csavaró nyomaték hat, ami a kiegyenlítés szerepét látja el. A szabályzásnál az ellenerők és az ellennyomatékok nagyságát és hatási idejét kell szabályozni.



3. ábra A segédkötélet kapcsolása a traverzhez és a macskához

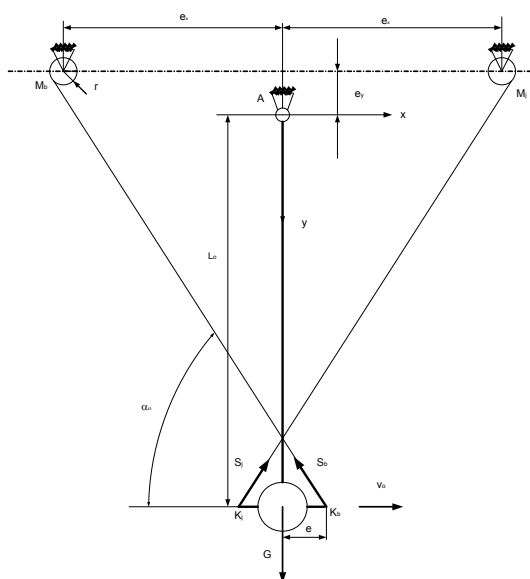
Az ingamozgás lengéscsillapításának ellenerővel történő megvalósítását egy egyszerű példán mutatjuk be. Feltételezzük, hogy az inga matematikai ingaként kezelhető. A gerjesztést az adja,

hogy az inga felfüggesztési pontja sebessége T idő alatt v_0 -ról nullára csökken, vagyis a fékezési fázist vizsgáljuk.

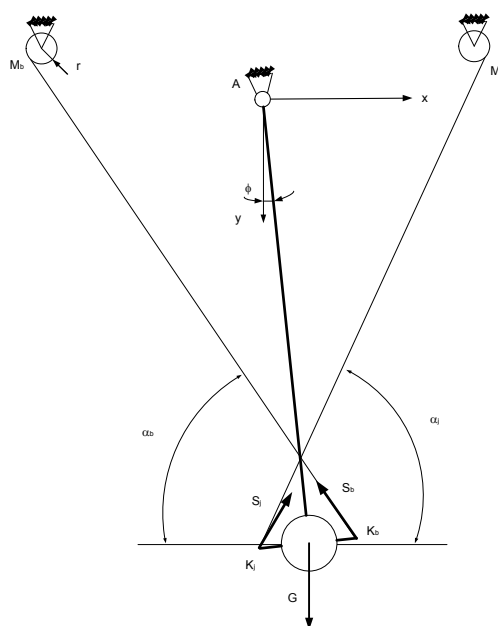
ÁLLANDÓ ERŐVEL FÉKEZETT SÍKINGA MOZGÁSTÖRVÉNYE

A híddarunál kétféle üzemállapotban léphetnek fel ingaszerű mozgások, mégpedig indításkor és fékezéskor. Indításkor a macska vagy a híd elindításakor a macskára szerelt emelőmű a névleges sebességre gyorsul fel, miközben a kötélen függő teher mozgása a tehetetlenségénél fogva fáziskéséssel követi ezt a mozgást, és közben síkinga-mozgást végezve kompenzálja a fáziskésést. Amennyiben egyszerre indítjuk a macskát és a hidat, úgy az inga két irányban kezd ingamozgást végezni, amelynek végeredménye nem két síkinga mozgása lesz, hanem egy szférikus inga-, vagy elliptikus kúpinga-mozgás. A nemlineáris ingamozgásokra nem érvényes a szuperpozíció elve, tehát a szférikus inga mozgástörvényét kell meghatározni és megoldani a mozgás elemzéséhez. Ezt az esetet most nem vizsgáljuk, mert a dolgozat terjedelme ezt nem teszi lehetővé. Feltételezzük azt is, hogy emelés nincs, csak haladó mozgás (indítása, vagy fékezése történik), ami ingalengést gerjeszt. További egyszerűsítés az is, hogy az inga matematikai ingaként kezelhető, amelynek veszteségei (légellenállás, csapsúrlódás, hajlításból származó hiszterézis-veszteség) elhanyagolhatóak. A síkinga kilendülésével ellenfázisban két-két pár ferde kötéllal állandó fékezőerőt fejtünk ki, amelynek iránya mindig az ingára merőleges. Az inga nyugalmi helyzetét és

jellemzőit az 4. ábra, a kilendülésekor érvényes helyzetet és paramétereket mutatja a 5. ábra. Az inga mozgását az inga felfüggesztési csuklópontjához (A) kötött x,y,z kr.-ben vizsgáljuk, de a mozgástörvényét polár kr.-ben fogalmazzuk meg, amelynek általános koordinátája az inga függőleges tengellyel bezárt szöge (ϕ). Az L_0 hosszúságú inga végén elhelyezett, tömegpontként kezelt tömeg (m) az emelt test és a tartószerkezet együttes tömege. A tartókötelzet rugalmasságát elhanyagoljuk. A segédkötelek kötéldebjai az A csuklópont fölött $e_y=0,5$ m magasságban és $e_x=1,5$ m távolságban vannak rögzítve, a dobok sugara ($r=0,15$ m) azonos méretű. A teher emelőkeretébe az inga középvonalához képest $e=0,75$ m excentritással elhelyezett csuklókhöz kötik be, az egymást keresztező segédköteleket. A mozgástörvényt arra az esetre fogalmazzuk meg amikor a rendszer fékezés miatt kezd lengésbe. A vizsgálatoknál feltételezzük, hogy a fékezés hatására a haladó egység azonnal megáll, míg ebben a pillanatban az inga tömege a névleges haladási sebességgel (v_0) rendelkezik. Feladatként azt a célt tűztük ki, hogy meghatározzuk a kilendülés szögét adott fékezőerő esetén, és arra is választ kívánunk adni, hogy a kötéllhossz (L_0), a sebesség (v_0) és a tömeg (m) hogyan befolyásolja a fékezőerő (F_m) nagyságát, amivel az ingalengés aperiodikussága biztosítható.

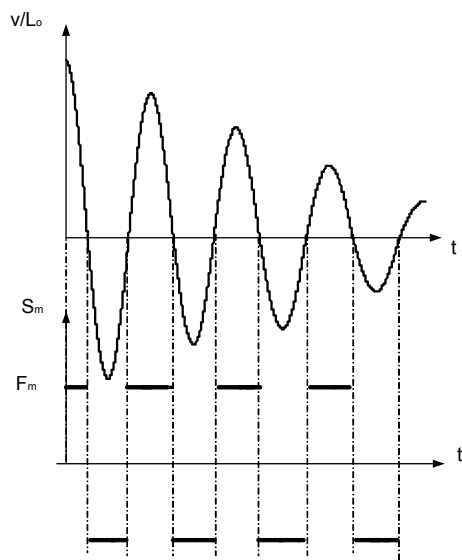


4. ábra Az inga jellemzői annak függőleges állása esetén



5. ábra Az inga jellemzői elfordulása esetén

A fékezőerő időbeni változását szemlélteti a 6. ábra, amelynek előjelét az inga szögsebességének időbeni változása határozza meg, ami azt jelenti, hogy az F_m fékező mindig olyan nyomatékot (M_m) ad a csuklópontra, amely az inga mozgását fékezi.



6. ábra Az ingát fékező erő (F_m) időbeni változása

Ezek után írjuk fel az inga mozgástörvényét, ami az A pontra felírt nyomatéki egyensúlyt jelenti Newton II. törvénye szerint:

$$J_A \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -m \cdot g \cdot L_0 \cdot \sin(\phi) - M_m \quad (1.)$$

$$y := \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{v_0}{L_0} \end{bmatrix} \quad D(t, y) := \begin{bmatrix} y_1 \\ -\frac{g}{L_0} \cdot \sin(y_0) - \frac{F_m \cdot [(y_1 \geq 0) \cdot 1 - (y_1 < 0) \cdot 1]}{m \cdot L_0} \end{bmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(y, 0, k \cdot T, n, D) \quad t := Z^{<0>} \quad \phi := Z^{<1>} \quad \phi_p := Z^{<2>}$$

7. ábra Az inga mozgástörvényének meghatározására alkalmas MathCAD eljárás

Egy előre felvett F_m csillapítóerőhöz tartozó tényleges kötélrő meghatározásához szükséges ismernünk a segédkötél nyugalmi állapotában a vízszintessel bezárt szögét (α_0), amit a rendszer geometriai jellemzői alapján egy iterációs eljárással határozunk meg, és ezt az eljárást a 8. ábra

Ahol; J_A – az inga A tengelyére redukált tehetetlenségi nyomatéka, g – a gravitációs állandó, ϕ – az inga kilendülési szöge a függőlegeshez képest. Az inga tehetetlenségi nyomatékát és a fékezőnyomatékot az alábbi összefüggésekkel határozzuk meg:

$$J_A = m \cdot L_0^2 \quad M_m = L_0 \cdot F_m \cdot \left| \frac{d\phi}{dt} \right| \quad (2.)$$

A mozgástörvény új alakját a behelyettesítések után kapjuk:

$$m \cdot L_0^2 \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -m \cdot g \cdot L_0 \cdot \sin(\phi) - L_0 \cdot F_m \cdot \left| \frac{d\phi}{dt} \right| \quad (3.)$$

A mozgástörvényt a MathCad programrendszerrel oldjuk meg, ezért a legmagasabb derivált kifejtésére lesz szükségünk:

$$\frac{d^2 \phi}{dt^2} = -\frac{g}{L_0} \cdot \sin(\phi) - \frac{F_m}{m \cdot L_0} \cdot \left| \frac{d\phi}{dt} \right| \quad (4.)$$

A gépi változóra transzponált mozgástörvény megoldását a Runge-Kutta-féle iterációs eljárással hajtjuk végre, amelynek programrészletét a 7. ábra szemlélteti, ahol y_0 – a ϕ -nek megfelelő transzformációs változó, y_1 – az inga szögsebességének megfelelő gépi változó, y – a kezdeti feltételeket megadó vektor, T – az inga lengésideje, k – a vizsgált lengési periódusok száma, n – a pontpárok száma a megoldásnál, ϕ_p – a az inga szögsebessége (= y_1 -gyel).

szemlélteti. Az inga maximális kilendülési szögét az energiatétel segítségével határozzuk meg. Ezek szerint a rendszer mozgási energiája (E) egy része potenciális energiává (U) alakul, és a maradék részt emészti fel az F_m fékezőerő munkája (W):

$$E = U + W$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \quad U = m \cdot g \cdot L_0 \cdot (1 - \cos(\phi_0)) \quad W = F_m \cdot L_0 \cdot \phi_0$$

$$c_y := 1 + e_y \quad c_x := e + e_x$$

$$\alpha_0 := 60 \quad (\text{fok}) \quad \alpha_0 := \frac{\alpha_0}{\text{cc}}$$

Given

$$\tan(\alpha_0) = \frac{c_y \cdot \sqrt{1 + \tan(\alpha_0)^2} - r}{c_x \cdot \sqrt{1 + \tan(\alpha_0)^2} + r}$$

$$\alpha_0 := \text{Find}(\alpha_0) \quad \alpha_0 \cdot \text{cc} = 77.702 \quad (\text{fok})$$

8. ábra Az α_0 iterációs eljárással történő meghatározása

Az összefüggések behelyettesítésével kapott iterációval határozható meg, amelynek program-egyenletből a maximális kilendülési szög csak ját a 9. ábra szemlélteti.

$$F_m := 1500 \quad (\text{N}) \quad S_m := \frac{F_m}{\cos(\alpha_0)} \quad S_m = 7.043 \cdot 10^3 \quad (\text{N})$$

$$\phi_0 := 10 \quad (\text{fok}) \quad \phi_0 := \frac{\phi_0}{\text{cc}}$$

Given

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot L_0 \cdot (1 - \cos(\phi_0)) + F_m \cdot L_0 \cdot \phi_0$$

$$\phi_0 := \text{Find}(\phi_0) \quad \phi_0 \cdot \text{cc} = 9.96 \quad (\text{fok})$$

9. ábra Az inga maximális kilendülési szögének meghatározására alkalmas iterációs eljárás

A vizsgálatokat konkrét modellen végeztük el, amelynek főbb paraméterei: $L_0 = 5, 10, 20$ m, $m = 2,5$; 5 tonna, $v_0 = 1$; 2 m/s. Ezeknél a paramétereknél meghatároztuk a maximális kilendülési szöget (ϕ_0) és a teljes csillapodásig a lengések számát (z_l) $F_m = 500$; 750; 1000 N csillapítóerők estében, továbbá meghatároztuk a segédkötél

nyugalmi helyzetében a vízszintessel bezárt szögét (α_0), valamint a segédkötélben ébredő erőt (S_m). Az eredményeket az 1-3. táblázatokban foglaltuk össze, a program futtatásával kapott szögelfordulás-idő, pedig a melléklet M.1.-M..8. ábrái szemléltetik.

A vizsgálatok alapján az alábbiakat állapítottuk meg:

- a fékezőerő és a kötélhossz növelésével csökken a kilendülési szög és a lengések száma,
- a v_0 kezdősebesség növelésével jelentősen megnő a kilendülési szög és a lengések száma, amit a tömeg kisebb mértékben befolyásol,

- a csillapítóerő akkor megfelelő, ha egy-nél több lengés nem alakul ki (az 1-3. táblázatban kiemeltük ezeket az eseteket, amiből megállapítható, hogy a nagyobb csillapítóerő hatékonyabban csillapítja az inga lengését.

1. táblázat

$F_m = 500 \text{ (N)}$						
$L_0 \text{ (m)}$	$m \text{ (t)}$	$v_0 \text{ (m/s)}$	$\phi_0 \text{ (fok)}$	$z_1 \text{ (l)}$	$S_m \text{ (N)}$	$\alpha_0 \text{ (fok)}$
5	2,5	1	7,10	1,25	1280	76,01
		2	15,28	3,25		
	5	1	7,62	2,75		
		2	15,84	6,50		
10	2,5	1	4,74	1,00	2348	77,70
		2	10,47	2,00		
	5	1	5,23	1,75		
		2	11,02	7,00		
20	2,5	1	3,09	0,75	4546	83,69
		2	7,10	1,50		
	5	1	3,55	1,50		
		2	7,62	3,0		

2. táblázat

$F_m = 750 \text{ (N)}$						
$L_0 \text{ (m)}$	$m \text{ (t)}$	$v_0 \text{ (m/s)}$	$\phi_0 \text{ (fok)}$	$z_1 \text{ (l)}$	$S_m \text{ (N)}$	$\alpha_0 \text{ (fok)}$
5	2,5	1	6,62	1,00	1920	76,01
		2	14,74	2,00		
	5	1	7,36	2,00		
		2	15,55	4,25		
10	2,5	1	4,29	0,75	3521	77,70
		2	9,96	1,50		
	5	1	4,98	1,50		
		2	10,47	3,00		
20	2,5	1	2,70	0,50	6820	83,69
		2	6,62	1,00		
	5	1	3,31	0,75		
		2	7,36	2,00		

3. táblázat

$F_m = 1000 \text{ (N)}$						
$L_0 \text{ (m)}$	$m \text{ (t)}$	$v_0 \text{ (m/s)}$	$\phi_0 \text{ (fok)}$	$z_1 \text{ (l)}$	$S_m \text{ (N)}$	$\alpha_0 \text{ (fok)}$
5	2,5	1	6,17	0,75	2560	76,01
		2	14,22	1,50		
	5	1	7,10	1,75		
		2	15,28	3,0		
10	2,5	1	3,90	0,50	4695	77,70
		2	9,48	1,00		
	5	1	4,74	1,00		
		2	10,47	2,25		
20	2,5	1	2,37	0,25	9093	83,69
		2	6,17	0,60		
	5	1	3,09	0,75		
		2	7,10	1,75		

A dolgozatban a segédkötelzet konkrét kialakításával és erőrendszerének a szabályozásával nem foglalkozunk, itt csak a mozgástörvény egyszerűsített változata alapján meghatározható paraméterek hatását elemeztük.

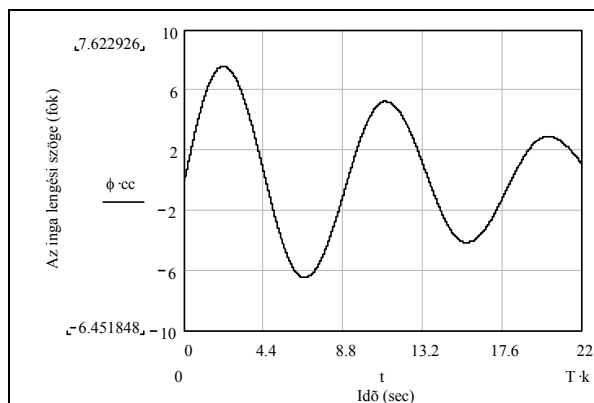
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A bemutatott kutató munka a TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”
 “This research was carried out as part of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project with support by the European Union, co-financed by the European Social Fund.”

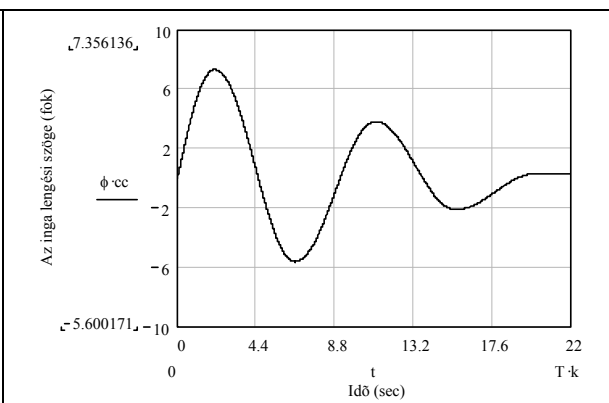
IRODALOM

- [1] BIGOS, P.; RITÓK, J.: Steuersystem der automatisierten Manipulationseinrichtung von einem Karantyp, Gép (XLV), 8. Budapest, 1993. ISSN 0016-8572
- [2] BIGOS, P.; RITÓK, J.: Nutzung experimenteller Methoden zur Beurteilung des technischen Zustandes von Stahlstrukturen, Miskolcser Gespräche 2000, Miskolci Egyetem
- [3] ZIEMS, D; HORN, P.: Untersuchung zur krangestützten Materialflusslösung im CÍM-TTZ im Magdeburg, Neue Trends bei automatisierten Kranen, CÍM-Seminar am 14. Mai 1993 in Magdeburg
- [4] FELFÖLDI, L. ÉS TSAI: Anyagmozgatási kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest,, 1975

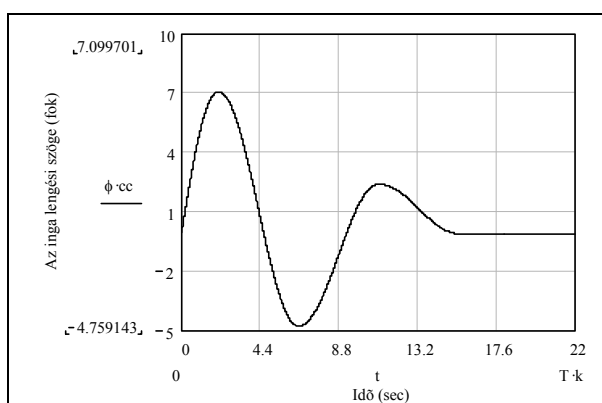
MELLÉKLETEK



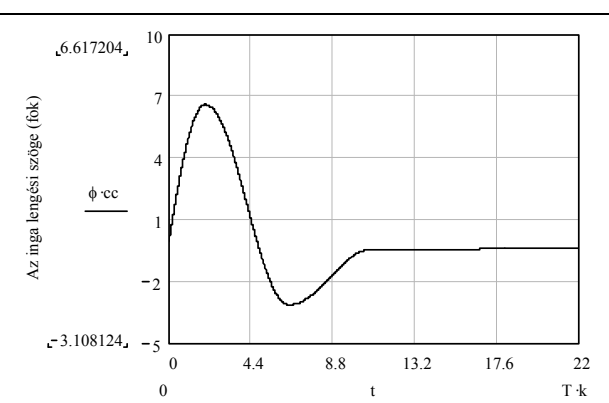
M.1. ábra Az inga szögelfordulása
($L=20$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=500$ N)



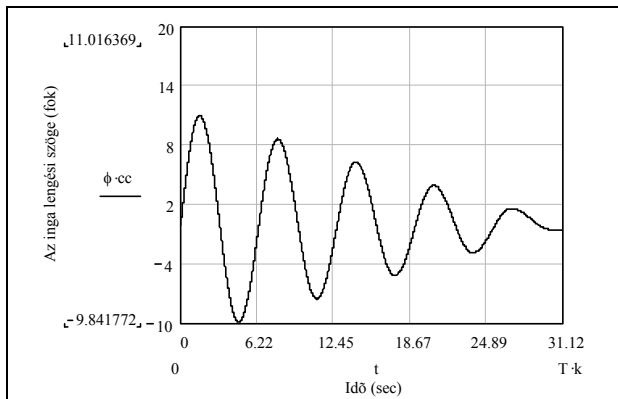
M.2. ábra Az inga szögelfordulása
($L=20$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=750$ N)



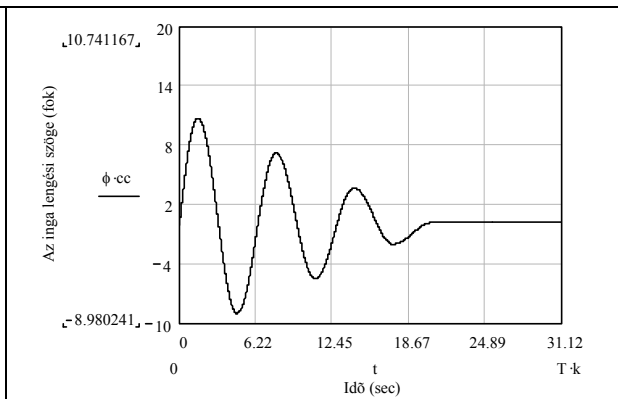
M.3. ábra Az inga szögelfordulása
($L=20$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=1000$ N)



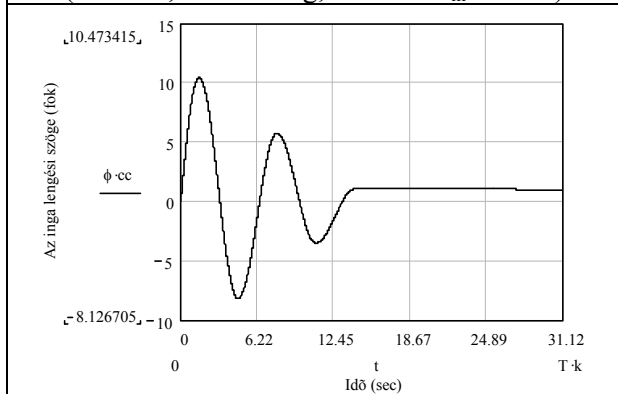
M.4. ábra Az inga szögelfordulása
($L=20$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=1500$ N)



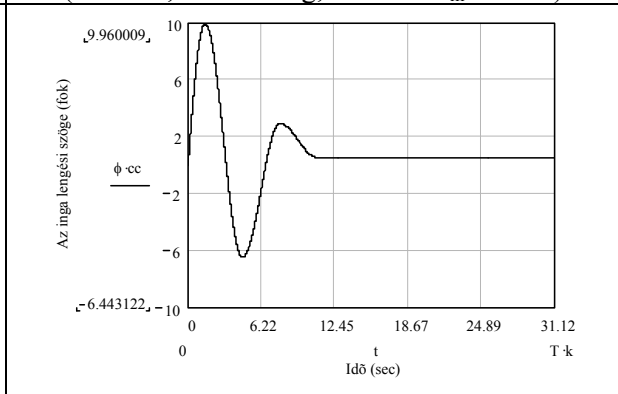
M.5. ábra Az inga szögelfordulása
($L=10$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=500$ N)



M.6. ábra Az inga szögelfordulása
($L=10$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=750$ N)



M.7. ábra Az inga szögelfordulása
($L=10$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=1000$ N)



M.8. ábra Az inga szögelfordulása
($L=10$ m, $m=5000$ kg, $v=2$ m/s $S_m=1500$ N)