

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza	Dr. Péter József	Dr. Döbröczöni Ádám	Németh Nándor
adjunktus	egyetemi docens	egyetemi tanár	MSc hallgató
Miskolci Egyetem			ELTE
Gép- és Terméktervezési Tanszék			Informatikai Kar

1. Bevezetés – a dörzshajtások újjáéledése
2. Hengeres csavarrugók
3. Napkerék csavarrugóból
4. Az új napkerék modellezése
5. A hajtás terhelhetősége
6. Forgató csavarrugók módszeres származtatása
7. Az egyenszilárdságú rugóalak
8. Összegzés
9. Köszönetnyilvánítás

Bevezetés

- Új igény:**
- nagy fordulatszám
 - csendes járás
 - változtatható áttétel
 - terheléssel arányos előfeszítés
 - alacsony gyártási költségek
 - egyszerű kialakítás
- Új lehetőség:**
- nagy keménységű felületek
 - pontos megmunkálás
 - trakciós kenőanyagok
 - nagy teljesítménysűrűség

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsbolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Hengeres csavarrugók

Kialakítás, terhelés: húzó-, nyomó-, forgatórugó

Fő igénybevétel: csavarás hajlítás

Fő alakváltozás: a rugóvégek távolodnak,
közelednek illetve elfordulnak

Járulékos alakváltozás: a középátmérő változása

Keresztmetszet: állandó, változó

alak: kör, négyzet, téglalap, ...

Anyag: rugóacél, egyéb fémötvözet, ...

Gyártástechnológia: tekercselés, forgácsolás, ...

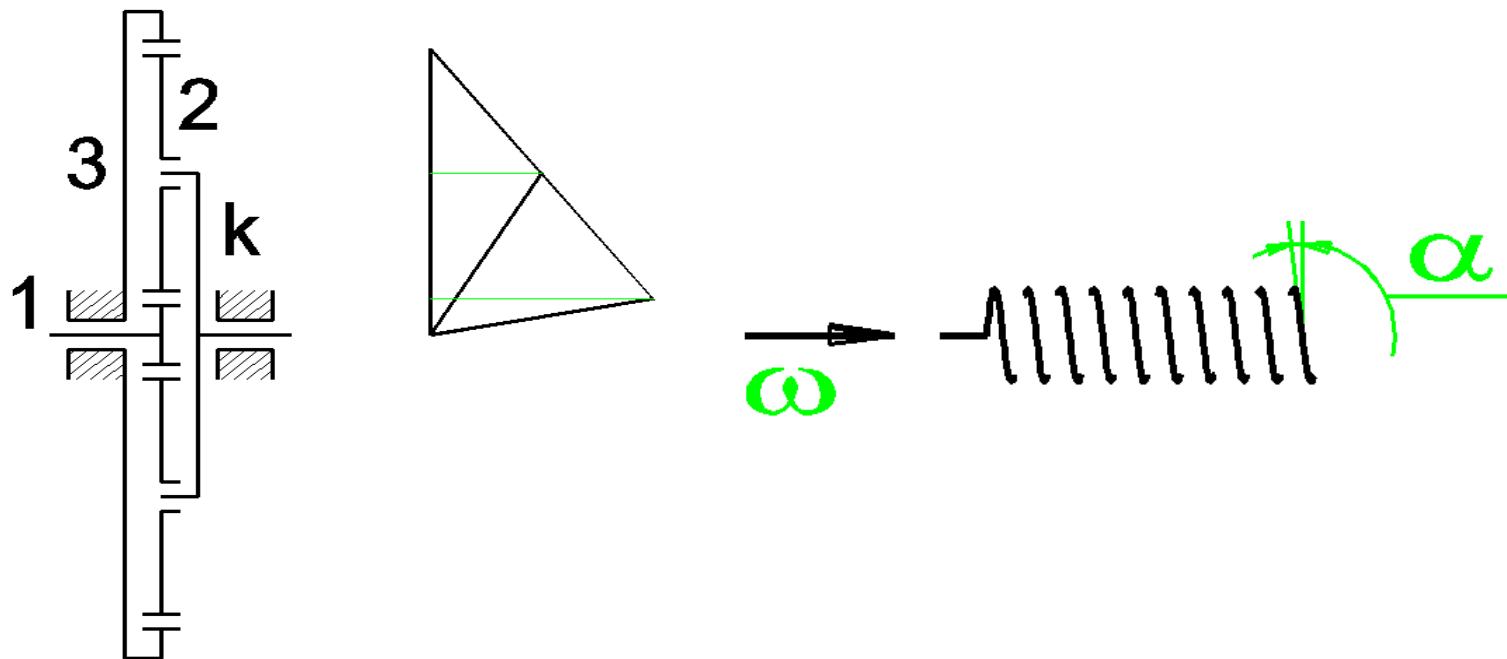
Bekezdések száma: egy, több(forgácsolt rugók)

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Napkerék helyettesítése csavarrugóval

kb dörzsolygómű

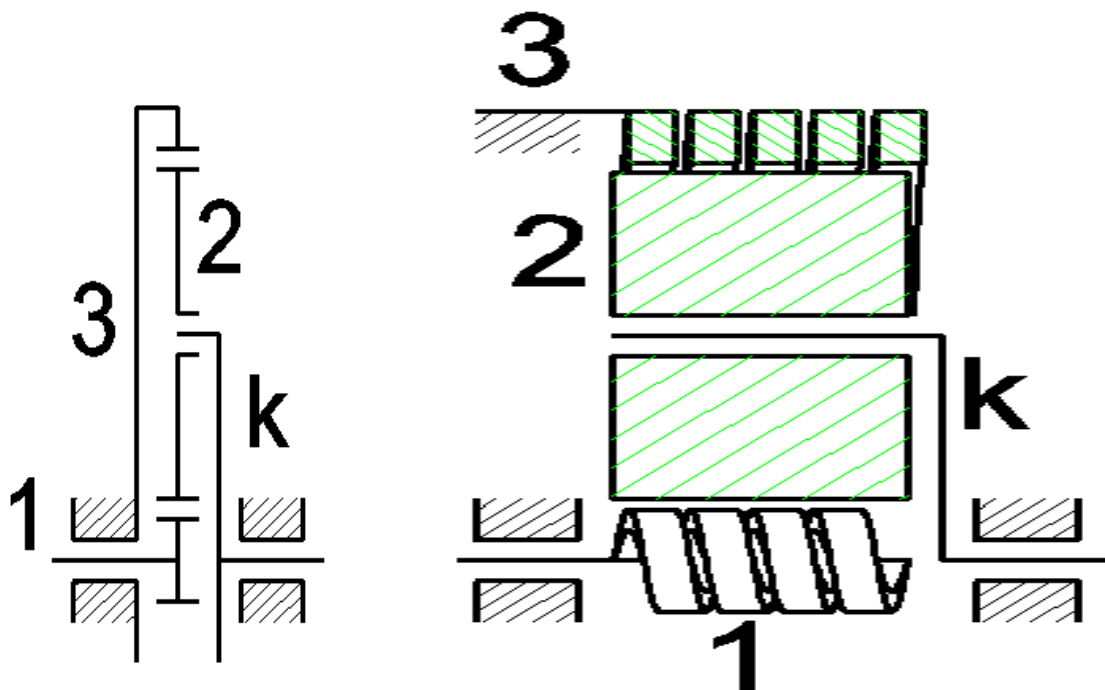


Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Napkerék helyettesítése csavarrugóval

kb dörzsboldogómű



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

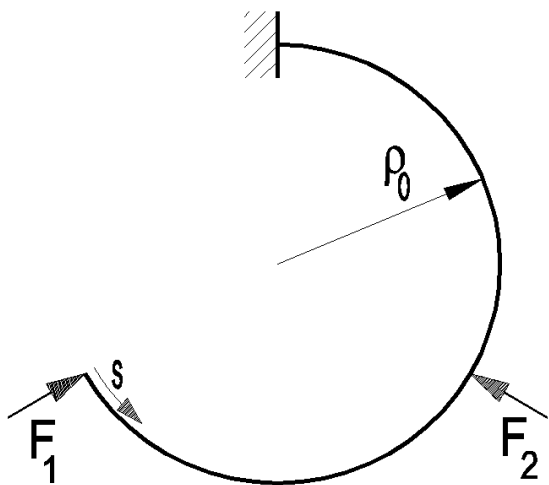
Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Az új napkerék modellezése

Feltételezések:

- A napkerék egy kis emelkedési szögű csavarrugó
- Terhelését a bolygókerekekről és a bemenő tengelyről kapja
- Az n menetszámú forgatórugó a Q számú bolygókerékkel $n \cdot Q$ helyen érintkezik
- A rugóra minden érintkezésben azonos nagyságú sugárirányú és érintő irányú erő hat.
- A rugó körív alakú síkgörge rúdként modellezhető, téglalap keresztmetszetű, prizmatikus

Síkgörbe rúd modell – sugárirányú erők hatása



$$\varphi_j = \frac{s_j}{\rho_0}$$

$$(j-1)\frac{2\pi}{Q} + 2k\pi \leq \varphi_j \leq j\frac{2\pi}{Q} + 2k\pi$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \text{ent}(n)$$

$$j = 1, 2, \dots, Q$$

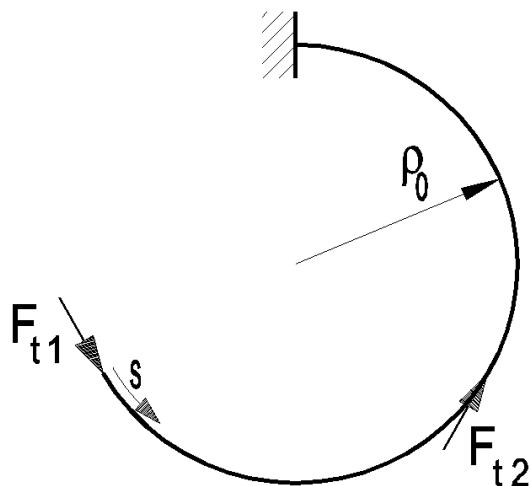
$$F_1 = F_2 = F$$

$$N_j = -F \sum_{i=1}^j \sin \left[\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right]$$

$$T_j = F \sum_{i=1}^j \cos \left[\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right]$$

$$M_{hj} = \rho_0 F \sum_{i=1}^j \sin \left[\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right]$$

Síkgörbe rúd modell – érintő irányú erők hatása



$$\varphi_j = \frac{s_j}{\rho_0}$$

$$(j-1)\frac{2\pi}{Q} + 2k\pi \leq \varphi_j \leq j\frac{2\pi}{Q} + 2k\pi$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \text{ent}(n)$$

$$j = 1, 2, \dots, Q$$

$$F_{t1} = F_{t2} = F_t$$

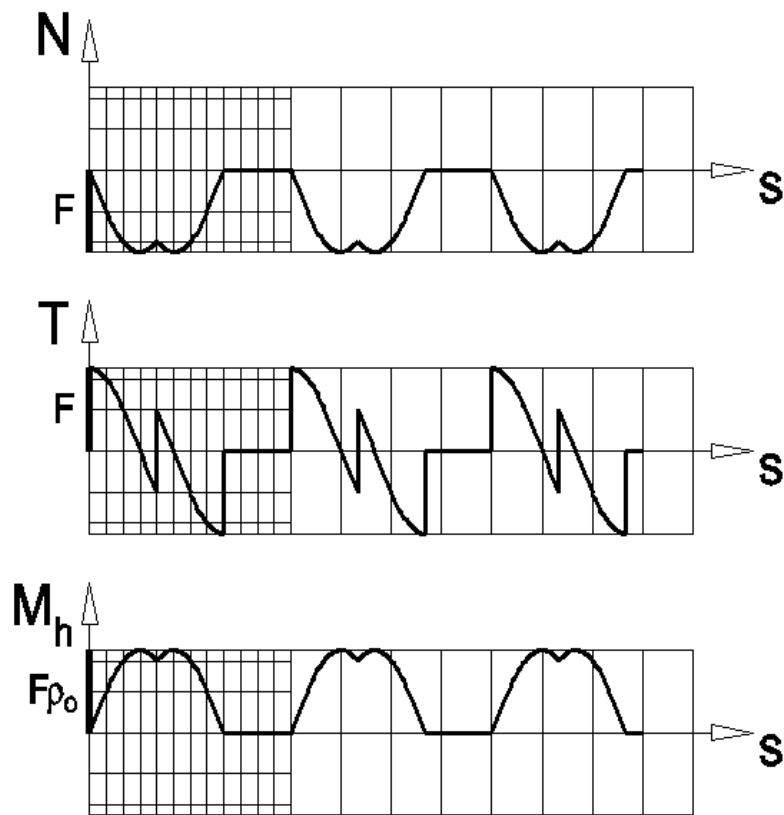
$$N_j = -F_t \sum_{i=1}^j \cos \left[\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right]$$

$$T_j = -F_t \sum_{i=1}^j \sin \left[\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right]$$

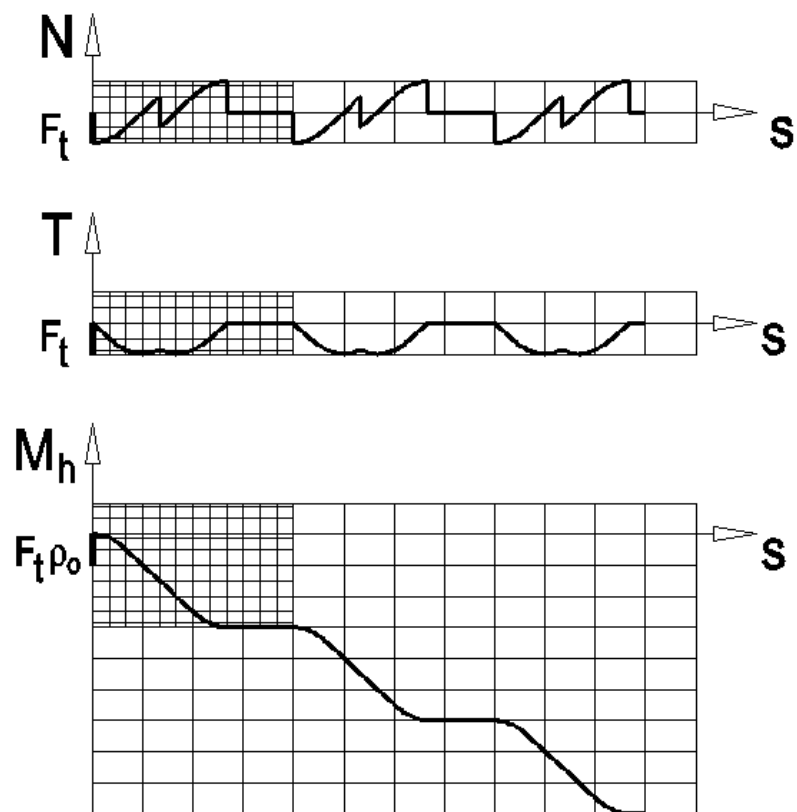
$$M_{hj} = -\rho_0 F_t \left\{ kQ + \sum_{i=1}^j \left[i - \cos \left(\varphi - (i-1) \frac{2\pi}{Q} \right) \right] \right\}$$

$A N(s), T(s)$ és $M_h(s)$ függvények ($Q=3, n=2,75$)

F erők hatása



F_t erők hatása



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsbolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Alakváltozások – Castigliano tételével

	F erők hatása	F _t erők hatása
A tartó görbületét	növelik	csökkentik
A keresztmetszetek szögelfordulása a rúd mentén	közel lineáris $\delta'_{M_0}(\varphi) = \delta'_{M_0 1} \left(1 - \frac{1}{2\pi n} \varphi \right)$	közel parabolikus $\delta''_{M_0}(\varphi) = \delta''_{M_0 1} \left(1 - \frac{1}{(2\pi n)^2} \varphi^2 \right)$
A legnagyobb szögelfordulás a szabad rúdvégen ($\varphi=0$) Q=3 esetén	$\delta'_{M_0 1} = \frac{\rho_0^2 F}{I_{red} E} 3n$	$\delta''_{M_0 1} = -\frac{\rho_0^2 F_t}{I_{red} E} n(3n+1)\pi$
A tapadási tényező	legyen $\mu_t=0,06$	$F_t=\mu_t F$

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Eredő szögelfordulás függvény

$$\delta_{M_0}(\varphi) = \delta'_{M_0}(\varphi) + \delta''_{M_0}(\varphi)$$

$$\delta_{M_0}(\varphi) = \frac{\rho_0^2 F}{I_{red} E} \left\{ \mu_t \frac{3n+1}{4\pi n} \varphi^2 - \frac{3}{2\pi} \varphi + n[3 - \mu_t \pi(3n+1)] \right\}$$

A függvénynek szélső értéke van a $\varphi = \frac{1}{\mu_t} \frac{3n}{3n+1}$ helyen.

Az egyes rugómenetekre eső szögelfordulások

$$\Delta \delta_{M_0}(k2\pi) = \delta_{M_0}(k2\pi) - \delta_{M_0}((k-1)2\pi) \quad , ahol \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$\Delta \delta_{M_0}(k2\pi) = \frac{\rho_0^2 F}{I_{red} E} \left[\mu_t \frac{3n+1}{n} \pi(2k-1) - 3 \right]$$

Az eredő szögelfordulás a menetek között lineárisan változik.

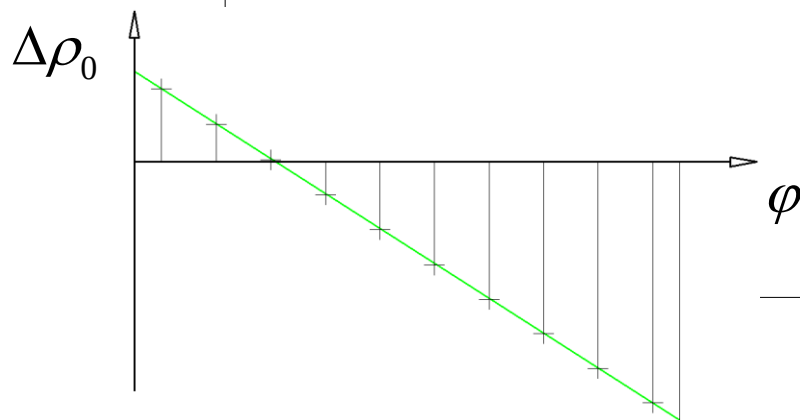
Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsbolgóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Eredő szögelfordulás függvény

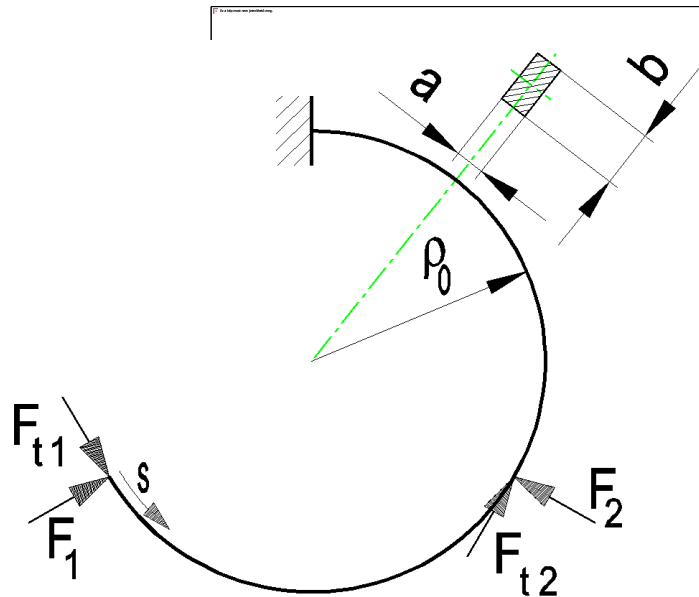
Az eredő szögelfordulás függvény mindenhol negatív, a középvonal sugarának terhelés hatására bekövetkező változása azonban csak a szélső érték helyéig.

$$\Delta\rho_{0k} = \rho_0 \left(1 - \frac{2\pi}{2\pi + \Delta\delta_{M_0k}} \right), \text{ ahol } k = 1, 2, \dots, n \text{ és } \Delta\delta_{M_0k} = \Delta\delta_{M_0}(k2\pi)$$



Következmény: Meg kell változtatni a terheletlen csavarrugó görbületi sugarát.

A hajtás terhelhetősége



$$Q = 3 \quad n = 10 \quad \mu_t = 0,06 \quad \sigma_{meg} = 1100 \text{ MPa} \quad \eta = -\frac{b}{2}$$

$$F_1, F_2, \dots, F_{(Qn)}$$

$$F_{t1}, F_{t2}, \dots, F_{t(Qn)}$$

$$\rho_0 = 2 \text{ mm}$$

$$a = 0,5 \text{ mm}$$

$$b = 1 \text{ mm}$$

$$e_{\max} = \frac{b}{2}$$

$$\frac{\rho_0}{e_{\max}} = \dots = 4$$

$$I_{red} = a\rho_0^3 \left(\ln \frac{2\rho_0 + b}{2\rho_0 - b} - \frac{b}{\rho_0} \right) = \dots = 0,0433 \text{ mm}^4$$

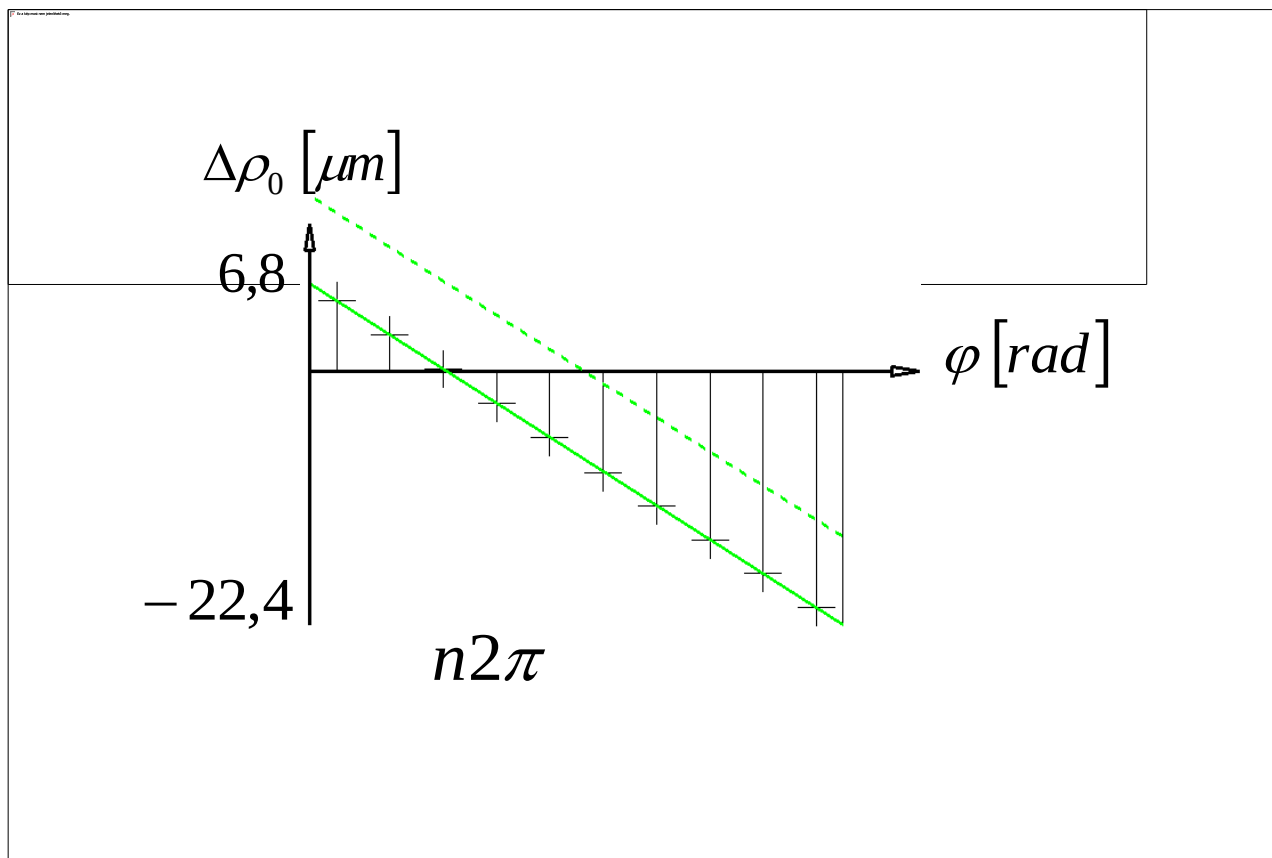
$$M_{h\max} \approx \frac{\sigma_{meg}}{\frac{1}{\rho_0 ab} + \frac{1}{I_{red} \frac{\rho_0 \eta}{\rho_0 + \eta}}} = \dots = -76 \text{ Nmm}$$

$$F_{\max} = \frac{-M_{h\max}}{\mu_t \rho_0 n Q} = \dots = 21 \text{ N} \rightarrow F = 20 \text{ N} \rightarrow F_t = 1,2 \text{ N}$$

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

A hajtás terheletősége



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Rugókarakterisztika, szerelés

$$M_{cs} = \frac{I_{red} E}{2\pi\rho_0 n} \varphi$$

$$M_{max} = \frac{K\sigma_{meg}}{k_0} \approx M_{hmax} = 75Nm$$

$$\varphi_{max} = \frac{2\pi\rho_0 n}{I_{red} E} M_{cs} = \dots = 1,07rad = 61,3^\circ$$

Az átmérőcsökkenés

$$\Delta d = 2\Delta\rho_0 = 2(\rho_0 - \rho'_0) = 2\rho_0 \left[1 - \frac{n}{\left(n + \frac{\varphi_{max}}{2\pi} \right)} \right] = \dots = 0,067mm$$

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsolygóműhöz

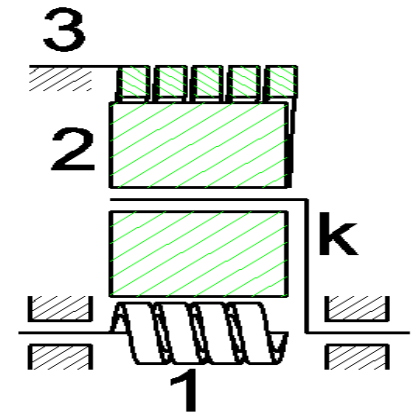
Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Az érintkezési feszültség

$$E^* = \frac{E}{2(1-\nu^2)} = \dots = 1,132 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$r_1 = 2,5 \text{ mm} \quad r_2 = 8,5 \text{ mm} \quad R = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \dots = 1,93 \text{ mm}$$

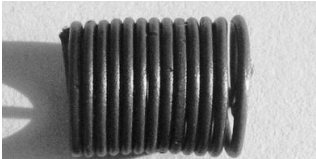
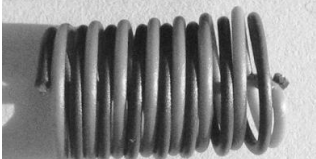
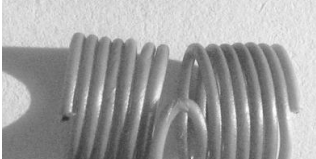
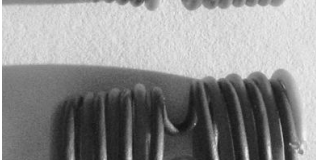
$$p_0 = \sqrt{\frac{FE^*}{a\pi R}} = \sqrt{\frac{20 \text{ N} \cdot 1,132 \cdot 10^5 \text{ MPa}}{0,5 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 1,93 \text{ mm}}} = 864 \text{ MPa}$$



Forgató csavarrugók módszeres származtatása

1. Szelvénytélesség (és egyben az emelkedési szög)	1.0 Állandó 1.1 Változó
2. Bekezdések száma	2.0 Egy 2.1 Kettő
3. Emelkedés iránya	3.0 Végig azonos 3.1 Változó

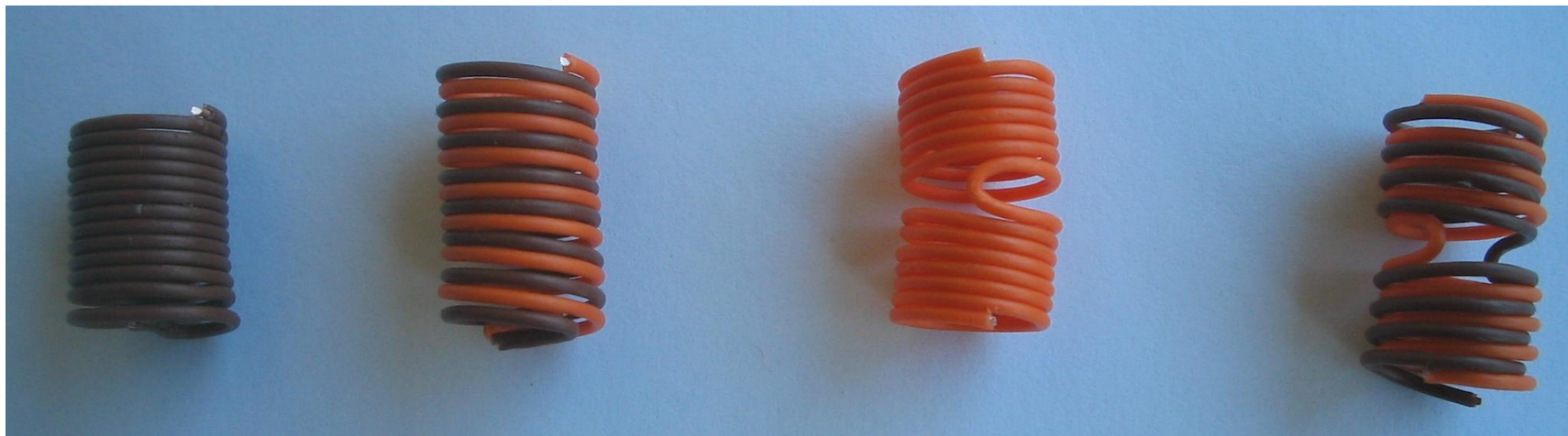
Forgató csavarrugók módszeres származtatása

Kód	Jelkép	Modell
000		
001		
010		
011		
100		
101		
110		
111		
		
		
		

Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

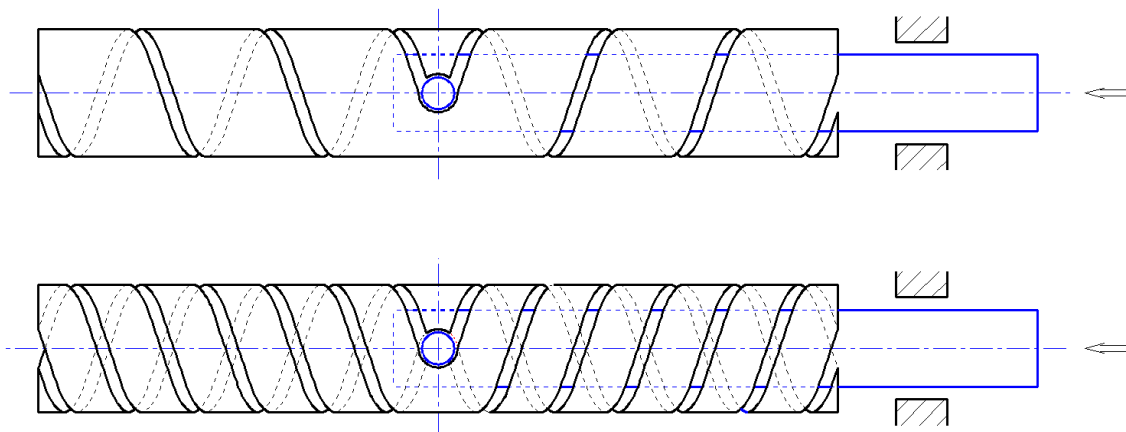
Csavarrugó modellek



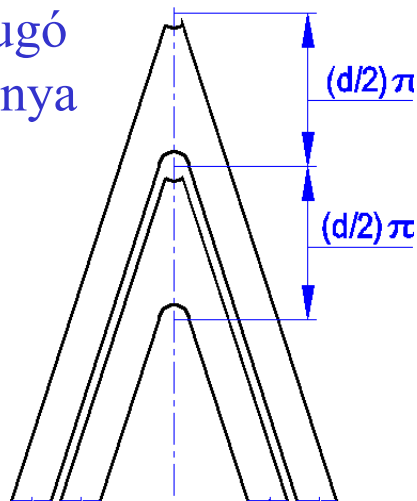
Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsbolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Változó emelkedési irányú forgató csavarrugók - lemezből



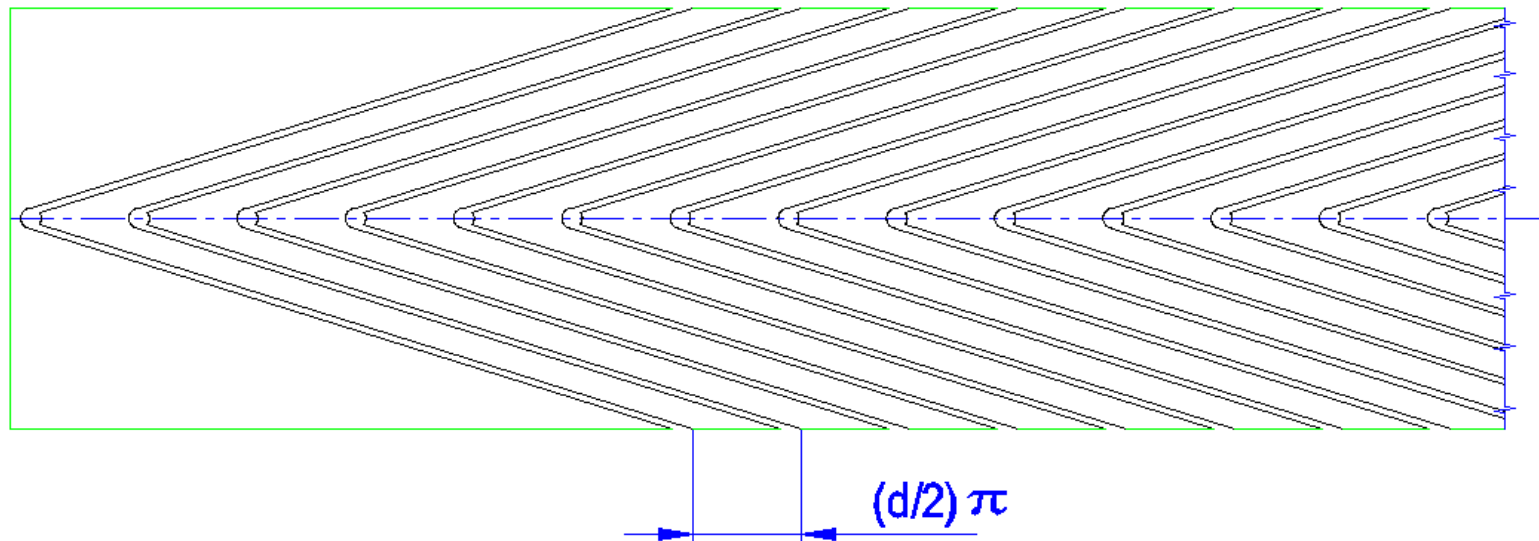
A kétbekezdésű rugó
lemez előgyártmánya



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Lemezvágás terve



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Az egyenszilárdságú alak

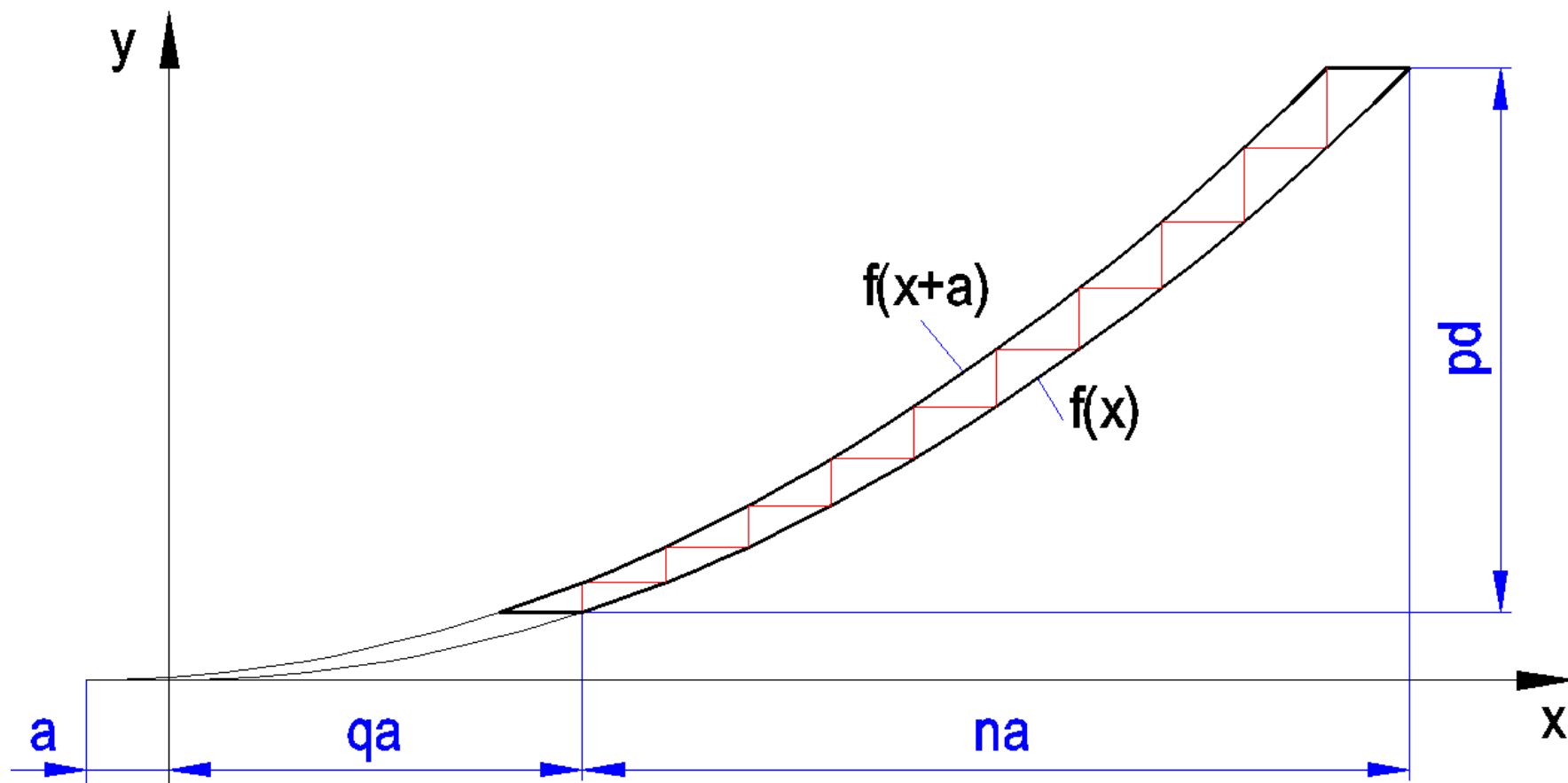
A rugót terhelő hajlítónyomaték változása az s ívkoordináta mentén

$$M_{hj} = F\rho_0 \left(1 + \frac{Q \cdot s}{2\pi\rho_0} \mu_t \right), \text{ ahol } s = 0 \dots \rho_0 \cdot 2\pi \cdot n \text{ között változik.}$$

A hajlítónyomaték tehát a szabad és hajtott végek között lineárisan változik.

Lemezből készült csavarrugó terítéke milyen legyen, hogy teljesüljön a szélesség lineáris változásának követelménye?

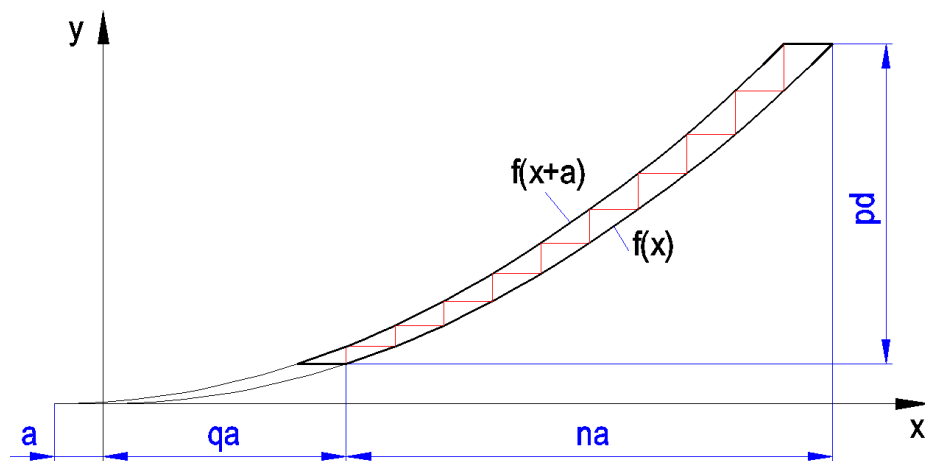
Az egyenszilárdságú alak



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsboldogóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Az egyenszilárdságú alak



$$a = d \cdot \pi$$

$$d \approx 2 \cdot \rho_0$$

$$f(x+a) - f(x) = mx + b$$

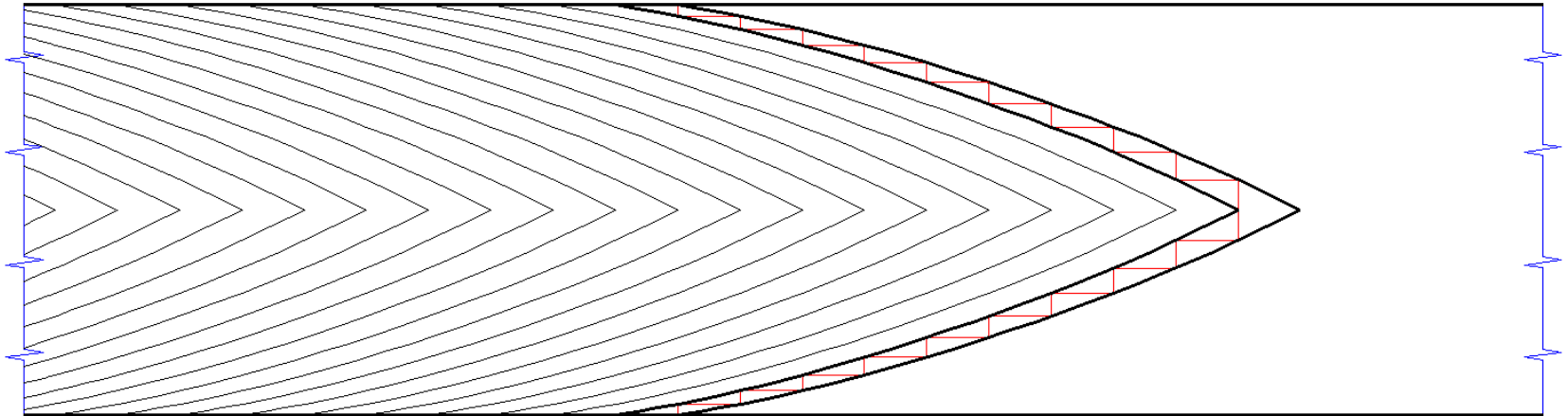
$$f''(x+a) = f''(x)$$

$$f(x) = kx^2$$

$$k = \frac{p}{(2q+n)n\pi^2} \frac{1}{d}$$

$$q = \frac{2(n-1) - \mu_t[n(Q-2)+1]}{2\mu_t(Qn-1)}$$

Az egyenszilárdságú rugó lemezterve



Forgató csavarrugó fejlesztése dörzsolygóműhöz

Németh Géza, Dr. Péter József, Dr. Döbröczöni Ádám & Németh Nándor

Összegzés

- A dörzsbolygóművek területén egy újszerű megoldással, a dörzskerekek rugalmas kialakításával biztosítottuk a működéshez szükséges összeszorító erőt
- Elkészítettük a forgató csavarrugóból kialakított napkerék statikai modelljét
- Számítottuk az egyenletes terheléseloszláshoz szükséges terheletlen rugóalakot
- Számítottuk a szereléskor a rugóra megengedett legnagyobb nyomatékot és szögelfordulást
- Módszeresen származtattuk a lemez előgyártmányú forgató csavarrugókat
- Számítottuk az egyenszilárdságú rugóalakot

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.