

HARANGTORONY MECHANIKAI VIZSGÁLATA

MECHANICAL ANALYSIS OF A BELL TOWER

Orbán Ferenc PhD PTE Pollack Mihály Műszaki Kar

ABSTRACT

This article tries to reveal the faults in functioning of an accomplished bell tower. To reduce vibration spring support is suggested. According to simplified estimates the displacement of vibration could be reduced. For solving the problem a constructive proposal was forwarded [2].

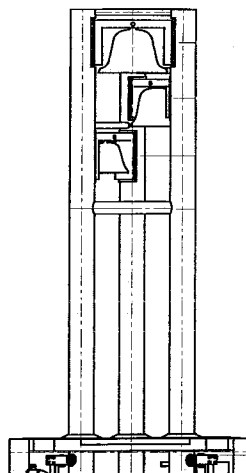
1. BEVEZETÉS

A Szent Bertalan harangtorony 2004-ben készült el és Pécs nevezetessége lett. A torony úgynevezett liftező harangtorony, ugyanis a harangjáték idejére kb. 7,5 métert emelkedik, így közel 13 m magas lesz és ekkor kezdődik a harangjáték.

A harangtorony egy hegesztett acélszerkezet, melynek tetején három harang található. Az emelést egy teleszkópos munkahenger végzi, amelyik egy 12,5 méter mély aknában helyezkedik el. A szerkezet megvezetése 3 db sín segítségével, valamint az akna tetejéhez közel 3 db görgőpárral történik.

Az alkotás építészeti jól sikerült. A működése azonban nem zavartalan, ugyanis a harang mozgása közben az egész szerkezetet lengésbe hozza. A szerkezet megvezetése nagy játékkal lett megtervezve, így a működési helyzetben a torony teteje több centimétert is elmozdul. Ebben a tanulmányban meghatározzuk a fellépő erőket és javaslatot teszünk a káros lengések csökkentésére.

A szerkezet nyugalmi helyzetében az 1. ábrán látható.



1. ábra. A harangtorony nyugalmi helyzetben.

2. A HARANG MOZGÁSA KÖZBEN KELETKEZŐ ERŐK

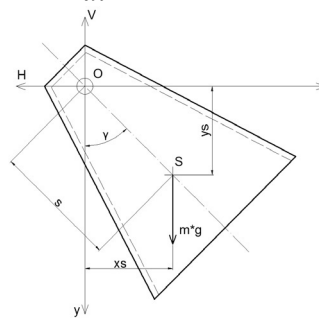
A harangozás elektromosan történik a harangot kb. 45°-os szögben térítik ki, utána szabadon leng.

A mozgás egyenletek a 2. ábra jelöléseivel:

$$m \cdot \frac{dx_s^2}{dt^2} = -H \quad (1)$$

$$m \cdot \frac{dy_s^2}{dt^2} = mg - V \quad (2)$$

$$J_0 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgs \sin \varphi \quad (3)$$



2. ábra. A harang mint fizikai inga

$$x_s = s \cdot \sin \varphi(t) \quad (4)$$

$$y_s = s \cdot \cos \varphi(t) \quad (5)$$

$$\frac{d^2 x_s}{dt^2} = s(\alpha \cos \varphi - \omega^2 \sin \varphi) \quad (6)$$

$$\frac{d^2 y_s}{dt^2} = -s(\alpha \sin \varphi + \omega^2 \cos \varphi) \quad (7)$$

$$H = m \cdot s(-\alpha \cos \varphi + \omega^2 \sin \varphi) \quad (8)$$

$$V = mg + ms(\alpha \sin \varphi + \omega^2 \cos \varphi) \quad (9)$$

A szélső helyzetben ($\varphi = 45^\circ$; $\omega = \dot{\varphi}$)

$$\alpha = -\frac{mg \cdot s \cdot \sin \varphi}{J_0} \quad (10)$$

$$H = \frac{m^2 \cdot s^2 \cdot g}{J_0} \left(\sqrt{2} \sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) \quad (11)$$

A vízszintes erő szinus függvény szerint változik és mint gerjesztő erő lép fel. A legnagyobb harang

tömege 290 kg, jelenleg ez a harang helyezkedik el legföül.

A harang 0 pontra számolt tehetetlenségi nyomatéka $J_0 = 25 \text{ kgm}^2$, a súlypont helye:

$s = 0,17 \text{ m}$.

A fenti adatok alapján:

$H = 487,6 \text{ N}$ és $\alpha = 14 \text{ 1/s}^2$

A harang saját körfrekvenciája:

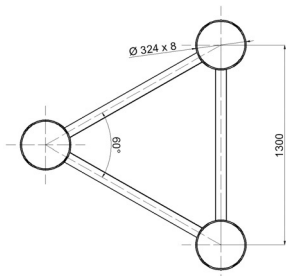
$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{m \cdot g s}{J_0}} = 4,44 \text{ 1/s} \quad (12)$$

Bár a $\varphi = 45^\circ$ -os kitérés már nagy, de a sinus függvény jól közelíthető egyenessel ebben a tartományban is.

3. A HEGESZTETT ACÉLSZERKEZET VIZSGÁLATA

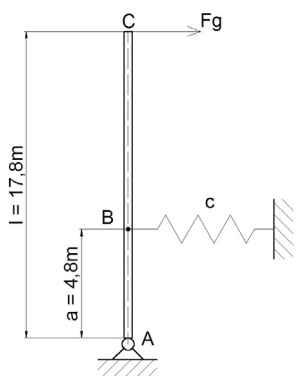
A torony 3 db közel 18 m hosszú csőből készült, összehegesztve csövekkel, illetve rácozóással.

A keresztmetszete a 3. ábrán látható.



3. ábra A torony keresztmetszete

A torony a sínekben és a görgők között nagy játékkal illeszkedik, így a harangozás közben csak az ütközések csillapítják a mozgást. Javaslataink [2] szerint a görgőket rugókkal feszítjük az acélcsővekhez és így elérhető, hogy a lengések csillapodnak. A szerkezet mechanikai modellje a 4. ábrán látható.



4. ábra. A torony mint lengő rendszer.

A rendszer saját frekvenciájának meghatározására a Lagrange féle differenciál egyenletet alkalmazzuk.

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{dT}{dq} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q \quad (13)$$

ahol: T – a kinetikus energia

Q – általános erő, most a rugó visszatérítő erő és a gerjesztő erő.

Általános koordináta a C pont vízszintes elmozdulása.

$$T = \frac{1}{2} J_a \left(\frac{x_c}{l} \right)^2 \quad (14)$$

A rugóban felhalmozott belső energia

$$U = \frac{\left(x_c \cdot \frac{a}{l} \right)^2}{2c} \quad (15)$$

$$\frac{dU}{dx_c} = \frac{a^2}{l^2} \cdot \frac{x_c}{c} \quad (16)$$

A (13) egyenletbe helyettesítve

$$\frac{J_a}{l^2} \ddot{x}_c + \frac{a^2}{l^2} \frac{x_c}{c} = H_0 \sin \alpha_1 \cdot t \quad (17)$$

a homogén egyenletből a saját frekvencia:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{J_a}{l^2} \cdot \frac{l^2}{a^2} \cdot c}} = 1,8 \text{ 1/s} \quad (18)$$

$c = 0,02 \text{ mm/N}$ 4 db rugó eredő rugóállandója.

A rezonancia függvény ebben az esetben:

$$R = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{\alpha_1}{\alpha} \right)^2 \right|} = 0,2 \quad (19)$$

A rezgések nagysága ilyen rugó választással az ötödére csökken.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy elkészült harangtorony működési zavarait próbálja feltárni a cikk.

A lengések csökkentésére rugós megtámasztást javasolunk. Az egyszerűsített számítás szerint a lengések kitérése csökkenthető. A megoldásra javaslat született [2].

5. IRODALOM

- [1] MUTTNYÁNSZKY Á.: Kinematika és Kinetika. Tankönyvkiadó Budapest, 1965.
- [2] TOTIS A.: Szent Bertalan harangtorony vizsgálata és a működési zavarok elhárítása. Szakdolgozat Pécs, 2011.