

A FÖLDRENGÉS HATÁSA A TARTÁLY MÉRETEIRE

THE EFFECT OF EARTHQUAKE ON TANK DIMENSIONS

Dr. Orbán Ferenc*, Fenyvesi Sándor**

ABSTRACT

The testing of tanks for seismic loads is less common in Hungary, where the maximum value of the horizontal seismic force can be 25-30% of the weight of the structure which is several times greater than the wind load. Seismic loads can be calculated according to several standards. In this article, we use MSZ EN 1998-4:2006. for the calculations. The tank-liquid system can be modeled as a two-dimensional system, and the effects can be summed algebraically. The destabilizing moment increases with the slenderness of the tank (H/R). Since the period time of the flow component is several seconds, its effect is smaller than that of the impulsive component moving with the tank wall.

1. BEVEZETÉS

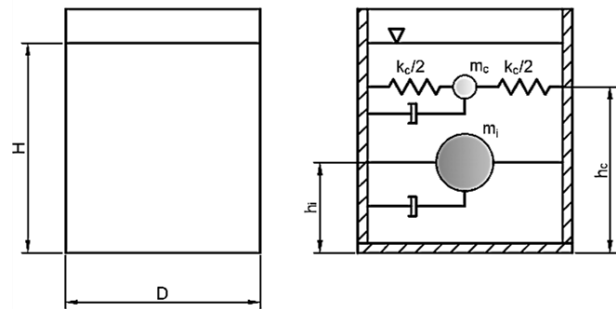
Az állóhengeres tartályok terhelése a tárolt folyadékból a hidrosztatikus nyomás.

A tartályok további terhei származtatnak szélteherből, hőteherből vagy földnyomásból ha a tartály tető földdel borított. A tartályok vizsgálata földrengés terhelésre kevésbé elterjedt pedig a vízszintes szeizmikus erő maximális értéke a szerkezet súlyának 25-30 %-a is lehet ami többszöröse a szélterhelésnek.

A szeizmikus terhek számítása történhet az MSZ EN 1998-4: 2006 vagy az API-650 szerint. A szerkezet szeizmikus igénybevételeinek nagysága az adott területre vonatkozó talajgyorsulások (gerjesztés) és a szerkezet gerjesztésre adott válaszában függvénye. A számításokhoz a tartály folyadék rendszert két egydimenziós rendszerként modellezzük 1. ábra.

Amikor a folyadékot tartalmazó tartály rezegni kezd, a folyadék a tartály falára és aljára hidrosztatikus nyomáson kívül impulzusos és konvektív hidrodinamikai nyomást is gyakorol. Az impulzusos rész a tartály alsó részében lévő folyadéknak felel meg, és úgy viselkedik, mint egy a héjhoz mereven kapcsolódó tömeg, míg a tartály felső részében a folyadék tömege hullámzó mozgást végez, és konvektív hidrodinamikai nyomást gyakorol. Általában gyakori megközelítés a kettős egyfokú szabadságú rendszer használata, amelyik mereven kapcsolódik a tartály héjához (impulzív), a

másik pedig rugókon keresztül kapcsolódik a tartályhoz (konvektív), lásd a 1. ábrát.



1. ábra A folyadékkal töltött tank lengéstani modellje

Ezzel a módszerrel modellezhető a folyadék és a tartály falának kölcsönhatása.

A modell ezután a teljes folyadék tömeget két részre osztja, azaz impulzusos (m_i) és konvektív tömegre (m_c).

A konvektív és impulzív tömegek az alsó lemez h_c (vagy h_c') és h_i (vagy h_i') távolságában vannak. A h_c és h_c' , valamint a h_i és h_i' közötti különbség az, hogy a vesszővel jelöltek figyelembe veszik a tartály alján kialakuló hidrodinamikai nyomás hatását. Az impulzusos és konvektív tömegek impulzusos és konvektív rezgési periódussal T_i és T_c mozognak. A rezgés idők az EN 1998-4: 2006 szerint :

$$T_{imp} = C_i \frac{\sqrt{\rho} \cdot H}{\sqrt{s/R} \cdot \sqrt{E}} \quad (1)$$

$$T_{con} = C_c \cdot \sqrt{R} \quad (2)$$

C_i és C_c együttthatók a periódus idők számításához, H a folyadék magassága, R a tartály sugara, s átlagos falvastagság, ρ a folyadék sűrűsége, E tartály anyagának rugalmassági modulusa.

A C_i , C_c együttthatók, m_i és m_c tömegek, h_i és h_c magasságok az 1. táblázatban láthatók.

* professzor emeritus, Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar, Gépészmérnöki Tanszéke

** tanársegéd, Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar, Gépészmérnöki Tanszéke

1. táblázat Koefficiensek a természetes periódusokhoz, tömegekhez és magasságokhoz az impulzív és konvektív komponensekhez

H/R	C _i	C _c (s/m ^{1/2})	m _i /m	m _c /m	h _i /H	h _c /H	h _i '/H	h _c '/H
1	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,69	0,555	0,734
2	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,5	0,764
2,5	6,56	1,48	0,81	0,19	0,452	0,794	0,48	0,796
3	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

2. táblázat Geometriai méretek

	D [m]	H [m]	H/R
1	14	13	1,86
2	12	18	3,00
3	11	21	3,82

m a folyadék tömege, m_i az impulzív tömeg, m_c konvektív tömeg, h_i az impulzív tömeg magassága, h_c a konvektív tömeg magassága.

A tárolt folyadék lökészerű (impulzív) és áramlási (konvektív) összetevőjének a csillapítása különböző az előbbi 5 % míg az utóbbi 0,5 %.

A szeizmikus erő számításához szükséges vízszintes gyorsulások $S_e(T_{imp})$, $m_c S_e(T_{con})$ az MSZ EN 1998-1/ Eurorocode 8 szerint számolhatók. Mivel az impulzív tömeg periódus ideje kicsi így a válaszspektrum görbe platójára esik a gyorsulás érték. Ebben az esetben tervezési válasz spektrum szerint a gyorsulás $S_d = S_e/q$, ahol $q=1,5$ a viselkedési tényező.

A vízszintes tolóerő :

$$Q = (m_i + m_w + m_r) S_e(T_{imp}) + m_c S_e(T_{con}) \quad (3)$$

m_w a tartály fal tömege, m_r a tartály tető tömege
A felborítást okozó nyomaték

$$M = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_{imp}) + m_c h_c S_e(T_{con}) \quad (4)$$

h_w és h_r a tartályfal és a tető súlypontjának távolsága az alaptól.

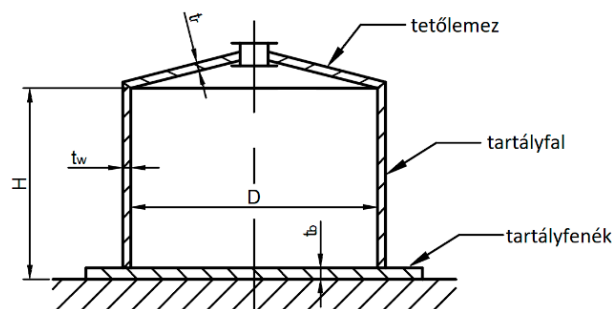
A fenéklemez alatti borító nyomaték

$$M' = (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_{imp}) + m_c h_c' S_e(T_{con}) \quad (5)$$

2. ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOK

Az ismertetett számítási módszer szerint három különböző tartályt vizsgáltunk, a tartályok mindegyike közelítően $V = 2000 \text{ m}^3$ folyékony anyag tárolására alkalmas.

A méretek a 2. táblázat szerint.



2. ábra Állóhengeres tartály geometriai modellje

A tartályfenék és a köpeny csatlakozásánál hajlítónyomaték is ébred, ezért merevítést alkalmazunk, egyébként a membrán elmélet alapján méretezhetünk. A tartály beton alapon nyugszik, lehet lehorgonyzott vagy horgonyzás nélküli. A tartályfenék terhelése egyenletes nyomás, elméletileg igen vékony lemez is megfelelő, általában 5 mm vastagságú. A tartályfedél változatos kialakítású, lehet kúpszerű vagy gömbsüveg alakú, de nagyobb átmérőknél merevített. A számításokat a 2. esetre mutatjuk be. A tartályfal átlagos értékének 6 mm-t, a tetőlemez vastagságát 7 mm-re választottuk.

3. táblázat A tömegadatok és erőkarok

m_i	1684 t	h_i	8,01 m
m_c	316 t	h_c	14,85 m
m_w	32 t	h_w	9 m
m_r	3,2 t	h_r	18 m

A periodikus idők:

$$T_i = 7,03 \cdot \frac{31,62 \cdot 18}{0,03 \cdot 458257} = 0,291 \text{ s} \quad (6)$$

$$T_{con} = 1,48\sqrt{6} = 3,625 \text{ s} \quad (7)$$

A gyorsulások:

$$\begin{aligned} S_e(T_{con}) &= a_g \cdot S \cdot 2,5 \cdot \eta \cdot \frac{T_c \cdot T_b}{T^2} \\ &= 1,579 \cdot 2,5 \cdot 1,348 \cdot \frac{0,6 \cdot 2}{3,625^2} \\ &= 0,485 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_e(T_{imp}) &= a_g \cdot S \cdot 2,5 \cdot \eta \cdot \frac{1}{q} \\ &= 0,14g \cdot 1,15 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 2,63 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$Q = (1684 + 32 + 6,2) \cdot 2,63 + 316 \cdot 0,48 = 4686,2 \text{ kN} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} M &= (1684 \cdot 8 + 32 \cdot 9 + 6,2 \cdot 1,8) \cdot 2,63 \\ &+ 316 \cdot 14,58 \cdot 0,485 = 38735 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (11)$$

Magyarországon öt szeizmikus zónát [4] határoztak meg, ez alapján a vízszintes gyorsulás pl. 4.zóna esetében 0,14 g.

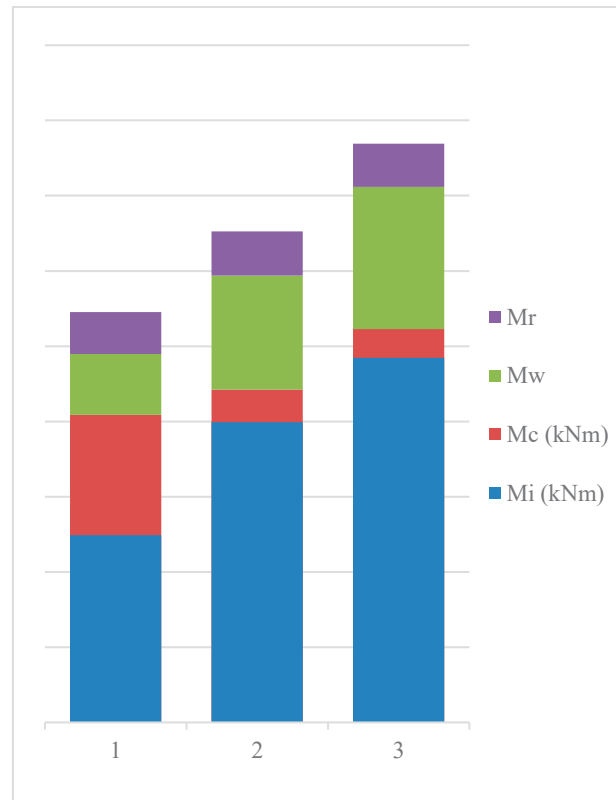
Az általaj szorzót $S = 1,15$ választjuk ez C típusú talajra vonatkozik.

A teherbírasi állapotban számított igénybevételek 4. táblázat.

4. táblázat számított igénybevételek az egyes teherbírasi állapotokban

	1. eset	2. eset	3. eset
T_{imp} (s)	0,19	0,291	0,34
T_{con} (s)	3,916	3,625	3,47
$S_e(T_{imp})$	3.82 / 2.53	3.95 / 2.63	3.95 / 2.63
$S_e(T_{con})$	0,414	0,485	0,54
V (kN)	4047,6	4686	4768
M_i (kNm)	22121,8	35472	43051
M_c (kNm)	2043	2211	2613
M_w	4058	758	946
M_r	278	294	287
M_{felb}	24848,5	38735	46897

Az acél tartály szeizmikus reakciójának összetevőit a 3. ábra mutatja.



3. ábra A felborító nyomaték értékei a különböző tartályoknál

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A földrengési hatások figyelembevételével végzett összehasonlító számítások alapján megállapítható, hogy a tartály geometriai arányait, különösen a karcsúsági tényezőt (magasság/átmérő arány), jelentős mértékben befolyásolják a kialakuló dinamikai igénybevételeket. Az egyszerűsített földrengés-számítási módszer [1] alkalmazásával végzett vizsgálatok rámutattak arra, hogy a tartály karcsúságának növekedésével arányosan növekszik a szerkezetre ható felborító nyomaték, ami stabilitási szempontból kedvezőtlen.

A vizsgált rezgésösszetevők közül az áramlási (fluidum) komponens nagy periódusidő miatt kisebb mértékben járul hozzá a szerkezeti igénybevételhez, mint a tartályfalhoz tapadó folyadék réteggel együtt mozgó, rövidebb periódusidejű, lökészerű komponens. Ez utóbbi tehát nagyobb mértékben befolyásolja a tartály globális dinamikai viselkedését földrengés esetén.

A közelítő számítási eljárás – amely során a válaszspektrum plató szakaszához tartozó gyorsulási értékkel számolunk, azaz az $S_e(T_{imp})/q$ formulát alkalmazzuk – megfelelő pontosságot nyújt a mérnöki tervezés szempontjából, különösen akkor, ha a tartály

sajátideje ebbe a tartományba esik. A hivatkozott szakirodalmi adatok [3] alapján ez az egyszerűsítés nem eredményez jelentős számítási hibát, így jól alkalmazható előzetes vagy koncepcionális tervezési fázisban.

Mindezek alapján földrengés-veszélyes térségekben célszerű alacsonyabb karcsúságú, azaz robusztusabb geometriájú tartályokat alkalmazni, mivel ezek kedvezőbb dinamikai viselkedést mutatnak, és kisebb felborulási kockázattal rendelkeznek. A szerkezet stabilitásának és biztonságának növelése érdekében érdemes a tervezési fázisban a karcsúsági tényezőt és a dinamikai jellemzőket integráltan értékelni.

4. IRODALOM

- [1] EN 1998-4:2006 “Design of structures for earthquake resistance – Part 4: Silos, tank and pipelines”
- [2] KOTRASOVA K., KORMANIKOVA E., LOUKILI M., MANSOUR S., FOTI D.: The seismic response of cylindrical steel tank at Al Hoceïma city in Morocco, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 1252, 2022.
- [3] VÁRDAI A.: Acéltartályok földrengésszámítása, gyakorlati megfontolások, Acélszerkezetek XIX. évfolyam 1. szám, 2022.
- [4] DULÁCSKA E., JOÓ A., KOLLÁR L.: Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásokra, Akadémia Kiadó, 2008.