

#### 4. Összefoglalás

Előadásunk keretében a mélyépítés két jellegzetes építményfajtájával, a víztartályokkal és víztornyokkal, valamint azok tervezési és kivitelezési kérdéseivel foglalkoztunk. Kimutattuk, hogy e fontos egyedi műtárgyak építése során az előregyártás és feszítés együttes alkalmazásának komoly jelentősége van. Az általunk ismertetett elvek szerint épített tartályok és víztornyok célszerű és gazdaságos voltát példákkal igazoltuk.

#### IRODALOM

1. Gnädig B.—Thoma J.: 1200 m<sup>3</sup>-es előregyártott, feszítettbeton víztartály. *Magyar Építőipar* (1957), pp. 1—7.
2. Thoma J.: Víztornyok újabb építési módszerei. *Magyar Építőipar* (1957), pp. 169—183.

GNÄDIG BÉLA:

Hozzászólásomban a *körhenger alakú, utófeszített folyadéktartályok* néhány méretezési kérdésével foglalkozom.

1. *Az oldalfal nyomott betonjának határigénybevétele.* Az oldalfalat a feszítőerőkből származó vízszintes nyomófeszültségekre kell méretezni. A vonatkozó szabványok (MNOSz 15227 és 15026) azonban nem adnak részletes utasítást a figyelembe veendő beton-határfeszültséget illetően. A nálunk szokásos B 280-as minőség esetén a nyomó határfeszültség  $0,80 \times 130 = 104 \text{ kg/cm}^2$  volna. A henger vezérgörbéje azonban gyakorlatilag nem pontosan kör, és a feszítő erő nagysága is helyenként változhatik. Ezért elméleti és kísérleti vizsgálatokra van szükség annak a megállapítására, hogy az említett  $104 \text{ kg/cm}^2$  érték hány százalékát lehet a méretezés során figyelembe venni. A vasbetonszabályzat membrán héjak esetében 50%-kal csökkenti a határfeszültségeket. Egyéb adat híján egyelőre ebből az adatból célszerű kiindulni, és így a B 280-as beton esetében  $52 \text{ kg/cm}^2$  nyomóhatárfeszültséggel célszerű számolni.

2. *Az oldalfal közelítő statikai vizsgálatának célja.* A hengerfal középvonalának sugara  $r$  [m], átmérője  $d$  [m], magassága  $h$  [m] és állandó falvastagsága  $v$  [m] (1. ábra). A  $\gamma$  [t/m<sup>3</sup>] térfogatsúlyú belső folyadékterhelés hatására az oldalfalban vízszintes *húzóerők* (gyűrűerők) és függőleges síkú *hajlítónyomatékok* keletkeznek. Az 1,0 m széles lemezsávra jutó húzóerő  $N_y$  [t/m], a hajlítónyomaték pedig  $M_y$  [tm/m]. Ezek számítása a statikai irodalomból (MÜLLER—BRESLAU, BEYER, GIRKMANN, LEWE stb.) ismeretes, de hosszadalmas feladat. A pontos számítás megkezdésekor azonban már ismerünk kell a  $v$  méretet. — Ezért szükség van olyan *egyszerű, közelítő* képletekre, melyekkel az előzetes méretezés gyorsan elvégezhető. A közelítő számítás a beton határfeszültségének becsült volta miatt is indokolt.

3.  *$N_{y, \max}$  közelítő számítása és a falvastagság megállapítása.* Az alaplemezbe mereven befogott oldalfalat tételezzünk fel. Tapasztalat szerint a legnagyobb gyűrűerő kb. a falmagasság alsó  $1/8$  részében keletkezik. A feszítés során a kábeleket a háromszög alakú folyadékterhelésnek megfelelően osztjuk ki. A feszítési veszteségekre való tekintettel a folyadéknyomást kb. 20%-kal megaladó feszítőerőt kell alkalmaznunk. Tehát a feszítésből származó legnagyobb gyűrűerő

$$N_{y, \max} \cong 1,20 \frac{7}{8} \gamma r h = 1,05 \gamma r h. \quad (1)$$

Így B 280-as beton esetében

$$\sigma_b = 52 \text{ kg/cm}^2 = 520 \text{ t/m}^2.$$

Ennek megfelelően

$$F = 1,0 v = \frac{N_{y, \max}}{\sigma_b} = \frac{1,05 \gamma r h}{520} = \frac{2,02 \gamma r h}{1000},$$

s így

$$v \cong \frac{1}{1000} \gamma d h. \quad (2)$$

4. *A víztartályok legkisebb falvastagsága.* Szerkezeti okokból a  $v \geq 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$  értéket javaslom. Behelyettesítve a (2) egyenletbe a  $v = 0,08 \text{ m}$  és  $\gamma = 1,0 \text{ t/m}^3$  értékeket a

$$d h = 80$$

egyenlőséghez jutunk. Ebből kiszámíthatjuk, hogy a minimális *8 cm-es* falvastagság milyen nagyságrendű feszítettbeton víztartály esetében felel még meg. Gazdaságos tartályok esetében  $h \cong d/2$ , és ebből kiszámítható, hogy a *8 cm-es* falvastagság kb.  $800 \text{ m}^3$  ürtartalomig megfelelő.

5. *+M<sub>y</sub> közelítő számítása.* A belső folyadéknomásból származó hajlítónyomatékokat BEYER: *Die Statik im Eisenbetonbau* című munkájának II. kötetében közölt (1258) sorszámú képlet szerint számíthatjuk. Bevezetve a

$$\lambda = \frac{v}{L}, \quad L = r : 1,31 \sqrt{\frac{r}{v}}$$

jelöléseket,

$$+M_y \cong \gamma \frac{r^2 v^2}{6 h} \lambda (\lambda - 1).$$

(Beyer 1258)

Ez a képlet átalakítások után így is írható :

$$+M_y \cong 0,284 \gamma r h v \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right).$$

A gyakorlatban előforduló  $500 \div 10\,000 \text{ m}^3$ -es tartályok esetében  $\lambda$  értéke  $7 \div 13$ , átlagosan tehát  $\lambda = 10$ . A zárójeles szorzó tényező közelítő értéke tehát  $0,90$ -re vehető és így

$$+M_y \cong 0,90 \cdot 284 \cdot r h v.$$

Ha végül  $r$  helyett a  $d$ -t vezetjük be, azt találjuk, hogy

$$+M_y \cong \frac{1}{8} \gamma d h v. \quad (3)$$

6. *-M<sub>y</sub> közelítő számítása.* Gyakorlati tapasztalat szerint a legnagyobb *negatív* nyomaték a befogási nyomatéknak kb.  $25\%$ -a szokott lenni és így közelítőleg

$$-M_y \cong \frac{1}{32} \gamma d h v. \quad (4)$$

7. *A +M<sub>y</sub> hajlítónyomatékból származó betonfeszültség számítása.* Látszólag a  $\sigma_b$  feszültség a  $\gamma$ ,  $d$ ,  $h$  és  $v$  tényezőktől függ és így négy változó függvénye :

$$\pm \sigma_b = f(\gamma, d, h, v).$$

Ámde  $v$  nem független változó, mert  $B\ 2\ 0$ -as betonminőség és  $800 \text{ m}^3$ -nél nagyobb ürtartalom feltételezésével,  $v$  értéke a (2) képlettel már egyértelműen meg van határozva.

A  $+M_y$  értékét a (3) képlettel számítva, a  $K = 1,00 v^2/6$  összefüggés figyelembevételével

$$\pm \sigma_b \cong \frac{+M_y}{K} = \frac{1}{8} \gamma d h v : \frac{v^2}{6} = 0,75 \gamma d \frac{h}{v}.$$

Azonban a (2) kifejezés alapján  $h/v = 1000/\gamma d$  és így végeredményben

$$\pm \sigma_b \cong 750 \text{ t/m}^2 = 75 \text{ kg/cm}^2. \quad (5)$$

Tehát arra a meglepő eredményre jutottunk, hogy a gyűrűerőre *méretezett* feszítettbeton tartályokban — *adott betonminőség feltételezésével* — a hajlításból származó legnagyobb *betonfeszültség a tartály méreteitől és a folyadék súlyától független állandó.*

8. *A hajlításból származó nagy beton húzófeszültség csökkentésének szükségessége és módszerei.* A repedésmentesség érdekében a *vízszintes feszítéssel* a vízszintes betonhúzófeszültségeket teljesen kiküszöböltük. De nem lehet megengedni az előző pontban

számított nagy függőleges húzófeszültséget sem, még akkor sem, ha az igen rövid szakaszon jelentkezik is. Tehát a *B 280-as* beton esetében jelentkező kb.  $75 \text{ kg/cm}^2$  húzófeszültséget a fokozott biztonsági repedésmennességi követelményeknek megfelelően  $22 \text{ kg/cm}^2$  érték alá kell szorítani (MNOSz 15227, 4,53 pont). E cél érdekében a következő módszerek alkalmazhatók:

- a) Az oldalfal függőleges feszítése.
- b) Az oldalfal leterhelése (héjcupola, magasabban elhelyezett második víztartály stb.).
- c) Merev alaplemez helyett rugalmas alaplemez kiképzése és számítása.
- d) Előregyártott oldalfal esetében a feszítést két ütemben végezzük a feszítő erő kb. 50–50%-os felosztásával. Az első ütemben az oldalfal alsó vége szabadon elmozdulhat és elfordulhat. Ezután a felfekvési horony bebetonozásával a falat befogjuk. Ezzel a módszerrel a befogás helyén a betonfeszültségek kb. 50%-kal csökkenthetők.
- e) Az oldalfal alsó sávját kiékeléssel megerősítjük.
- f) A fal alsó végét úgy képezzük ki, hogy az el is mozdulhat és el is fordulhat. A vízelszivárgást gumi kapcsolóelemekkel akadályozzuk meg, feltéve, hogy az említett különleges gumibetétek rendelkezésre állanak.

A felsorolt módszereket kombinálva is lehet alkalmazni.

9. *Hő hatására keletkező betonfeszültségek.* A folyadék hőmérsékletét  $T_b$ -vel, a külső közeg hőmérsékletét  $T_k$ -val jelölve, a fal vastagsága mentén egyenletesen változó hőmérséklet hatására keletkező *vízszintes és függőleges* betonfeszültség:

$$\sigma_b \cong + 1,5 \Delta t. \quad (6)$$

ett  $\Delta t$  az oldalfal belső és külső felületének hőmérséklet-különbsége, ami a hőátbocsátási és hőátadási tényezők figyelembevételével határozható meg. Az *alacsonyabb* hőmérséklet oldalán *húzás* keletkezik.

Jelentős húzófeszültség keletkezhetik a tartály *részleges* feltöltésével együtt járó egyenlőtlen hőhatásból is (2. ábra). – Itt MELAN, E. módszerét célszerű alkalmazni. – A hőmérsékletváltozás függvénye így írható fel:

$$T = f(y) = T_0 e^{-\omega y}. \quad (7)$$

Itt  $\omega$  az oldalfal hőtani állandóiból számítható tényező.

A nyomatékok és nyomóerők meghatározására diagrammok állnak rendelkezésre. MELAN, E.: *Wärmespannungen in einem kreisrunden Behälter, Österreichische Bauzeit-schrift* 9 (1954), pp. 81–84.

#### MISTÉTH ENDRE:

Szeretném a figyelmet a vízmedencék horpadási veszélyére felhívni. Az előadó által legutolsónak bemutatott víztorony felső 400 m<sup>3</sup>-es medencéjében ez a veszély még nem áll fenn, de nagy átmérőjű, magas oldalfalú vízmedencék esetében a horpadás bekövetkezik.

A horpadási veszély pontos vizsgálata igen bonyolult feladat. A pontos megoldást legjobban úgy közelíthetjük meg, ha a kis kúposágú, csonkakúp alakú vízmedencét oly hengernek tekintjük, amelynek oldalfala alul is és felül is megtámasztott. Erre az esetre W. Flüge [1] adott pontos megoldást. Flüge szerint az 1. ábrán látható henger kritikus feszültsége

$$\sigma_k = \frac{E}{\left(\frac{\pi^2 r^2}{b^2} + m^2\right)^2 (m^2 - 1)} \left[ \frac{\pi^4 r^4}{b^4} + \frac{v^2}{12(1 - \mu^2)r^2} \beta \right]$$

Itt

$$\beta = \left(\frac{\pi^2 r^2}{b^2} + m^2\right)^2 \left(\frac{\pi^2 r^2}{b^2} + m^2 - 1\right)^2 + 2(1 - \mu) \frac{\pi^2 r^2}{b^2} \left(\frac{\pi^4 r^4}{b^4} - m^4\right),$$

$\mu$  a Poisson-féle szám reciprok értéke (vasbetonra  $\mu = 1/6$ )  $m = 2, 3, 4, \dots$  egész szám. A képletbe  $m$  egész-számmal azt az értéket kell betenni, amelyik  $\sigma_k$ -ra a legkisebb értéket szolgáltatja. A hozzátartozó  $m$  érték azt jelenti, hogy horpadáskor a félkerület mentén hány szinuszos félhullám keletkezik.

A fenti képlettel való vizsgálat nehézségeit maga Flügge is látta és ezért a megoldást grafikonban is megadta (2. ábra). Új mennyiség a grafikonban a

$$k = \frac{1}{12} \left( \frac{v}{r} \right)^2$$

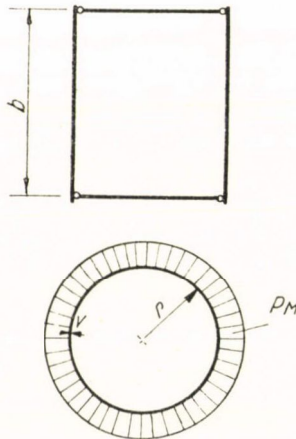
tényező. Meg kell jegyezni, hogy a Flügge-féle képlettel, illetve grafikonna számított  $\sigma_k$  érték rendszeresen nagyobbra adódik, mint a 28 napos kockaszilárdság, ami arra figyelmeztet, hogy a horpadási jelenség nem az ún. Euler-szakaszon következik be. Erre való tekintettel gyakorlati célokra a következő eljárás javasolható. Megállapítjuk  $m$  értékét, azután az

$$a = \pi \cdot \frac{r}{m}$$

képlettel kiszámítjuk egy szinusz-félhullám hosszát, majd az  $\frac{a}{v}$  hányadoshoz az MNOSz 15227-ből megállapíthatjuk a nyomott rudak kihajlására érvényes  $a$  értéket, ezután pedig  $\sigma_k = a\sigma_A$  értéket egybevetjük a medence közepén kiszámított

$$\sigma_M = \frac{P_M r}{v}$$

értékkel. Ha a  $\sigma_k > \sigma_M$ , akkor nem áll fenn horpadásveszély.



1. ábra. Számítási vázlat hengeres tartályok horpadásvizsgálatához

Kérdés azonban, hogy horpadási veszély vizsgálata során alkalmazhatók-e a kihajlás esetére érvényes tényezők, szabad-e a mértékadó feszültséget középértékkel számítani és milyen eltérés várható az íves lemez stabilitása és a sík lemez stabilitása között. Kérdés továbbá, hogy változik-e  $\sigma_k$  értéke, ha a héjban alkotómenti feszültségek is fellépnek.

E kérdések eldöntéséhez tudni kell, hogy horpadás esetében egy félhullám hossza  $a$ ,  $b$  hengermagasságnál mindenkor kisebb, vagyis  $a < b$ . A lemezek kihajlására vonatkozóan a lemezelméletből ismert képlet pedig, a kihajlást előidéző kritikus erő (3. ábra)

$$P_k = \frac{\pi^2 K}{b^2} \left( \frac{b}{a} + \frac{a}{b} \right)^2,$$

ahol

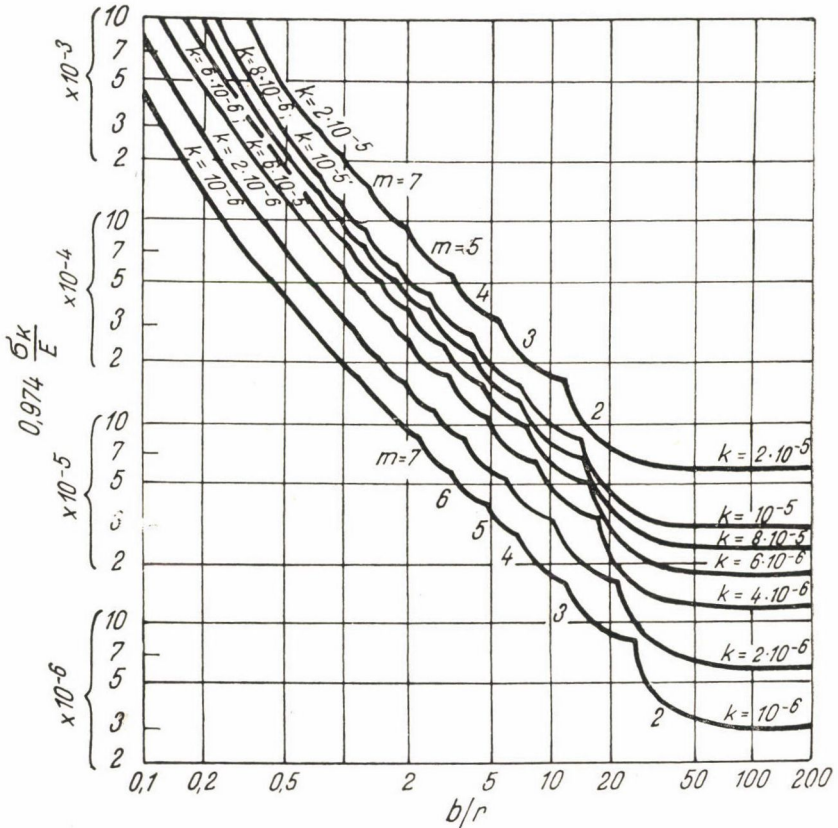
$$K = \frac{E v^3}{12 (1 - \mu)^2}.$$

Az utóbbi érték a nyomott rudakra vonatkozó  $EJ$  értéknek felel meg. Ha az előbbi képletben a kijelölt műveleteket elvégezzük, akkor

$$P_k = \frac{\pi^2 K}{a^2} + \frac{\pi^2 K}{b^2} \left[ 2 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 \right],$$

ahol az első tag az Euler-féle kihajlító erő, a második tag értéke pedig, ha  $b > 4a$ , 13 százalékkal növeli a rudakra vonatkozó kritikus erőt. Így a szabályzat-adta tényezők alkalmazása a biztonság javára történő elhanyagolással jár.

A szabályzat héjakra a határfeszültséget a beton minőségétől függően a közönséges vasbetonszerkezetekre megállapított érték felében állapítja meg. Véleményem szerint stabilitási feladat tárgyalása során héjak esetében is az eredeti határfeszültségeket kellene alkalmazni.



2. ábra. W. Flügge diagramja hengeres tartályok horpadásvizsgálatához

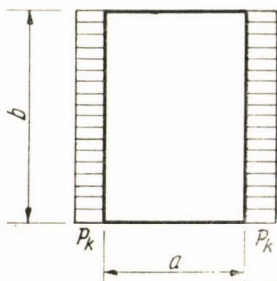
A mértékadó feszültség számításakor a középértékkel való számítás jó közelítés és megengedhető (4. ábra). Ezek szerint

$$P_{lk} \sim \frac{2\pi^2 K}{a^2} + \frac{2\pi^2 K}{b^2} \left[ 2 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 \right].$$

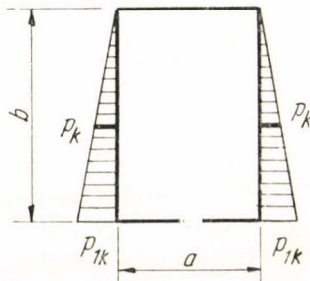
Íves lemezek horpadását a rudakra vonatkozó hasonlat alapján a kiterített síklemez horpadásával helyettesíthetjük. Végtelen hosszú henger esetében, ha  $m = 2$ , a negyedkör ívmagassága 20%, amihez 1,06-szoros kihajlási hossz-szorító tartozik, ami a határfeszültséget legfeljebb 10%-kal csökkenti.

Ha a hengerhéjban alkotómenti feszültség is van, akkor a kihajlító feszültség értéke csökken. Ha csupán valamely kis terhelésű födém, pl. a hengerek megtámasztását szolgáló elem, alkotja a medence tetejét, akkor az alkotómenti feszültség értéke 2–3 kg/cm<sup>2</sup> nagyságrendű és a kritikus feszültség csökkenése kb. 3–4%. Ha azonban az alkotómenti feszültség tekintélyes, akkor az itt nem közölt alapképletből kell kiindulni és ennek megfelelően kell a kritikus feszültséget megállapítani.

Mindent összegezve, vékonyfalú, előregyártott és előfeszített nagy átmérőjű, kétrészes medencék belső hengerfelületeit horpadásra is meg kell vizsgálni. Az előregyártott elemek kiosztását lehetőség szerint úgy kell elvégezni, hogy az osztásköz ne egyezzek a horpadás félhullámhosszával, tehát a kör kerületén ne legyen  $2m$  számú



3. ábra. Kihajlásra igénybevett síklemez állandó terhelésre



4. ábra. Kihajlásra igénybevett síklemez változó terhelésre

elem. Minden helyszíni betonozási hely ugyanis egy-egy csukló kialakulásának veszélyét rejti magában és így ha  $2m$  számú szakaszból készült a medence hengerfala, megvan a lehetőség, hogy a kialakult szinusz félhullámok a helyszíni betonozási helyekkel összeessenek. Mivel a kihajlás és a rezonancia duális fogalmak, azt is mondhatjuk, hogy a héjat a kritikus kihajlási állapottól el kell hangolni.

#### IRODALOM:

Flügge, W.: Statik und Dynamik der Schalen. Berlin-Springer 1934.

Föppl, L. — Sonntag, G.: Tafeln und Tabellen zur Festigkeitslehre. München 1954.