

## KAPACITÁSOS NYOMÁSJELZŐK ÉS HOSSZVÁLTOZÁSMÉRŐK ALKALMAZÁSA A BETON ALAPTULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATÁRA\*

Az építőanyagok — terhelés vagy egyéb hatások következtében létrejövő — alakváltozásainak mérésére számos módszer ismeretes. Mindegyik módszernek megvan a maga alkalmazási területe. Az általánosan használt és közismert (mechanikai, optikai vagy ellenálláshuzalos) módszerek azonban az alakváltozások mérését a képlékeny zónában és a törés stádiumában nem — vagy csak korlátozott mértékben — teszik lehetővé. Pedig az anyagok képlékeny tulajdonságainak ismerete és a törési jelenségek vizsgálata igen fontos a törési elméleten alapuló méretezési módszerek és szabályzatok helyességének alátámasztása szempontjából.

A beton alaptulajdonságainak, korszerű, új szempontok szerinti vizsgálatához is olyan módszerekre van szükség, amelyek lehetővé teszik a plasztikus tartomány vizsgálatát és az alakváltozásoknak a törés állapotában való mérését. E módszerek egyike a kapacitásos nyomásjelzők, illetve a kapacitásváltozáson alapuló hosszváltozásmérők alkalmazása. Fő előnyük abban áll, hogy egyrészt kedvező lehetőséget nyújtanak az igényeknek megfelelő mérés-határú és típusú felvevők tervezésére, másrészt lehetővé teszik az anyag belsőjében vagy olyan helyeken való mérést, ahol egyéb műszerek nem alkalmazhatók. Az igényeknek megfelelően tervezett mérőelemekkel — korszerű vivőfrekvenciakörök és hidak segítségével — pontosan indikálhatók a nyomások, illetve alakváltozások.

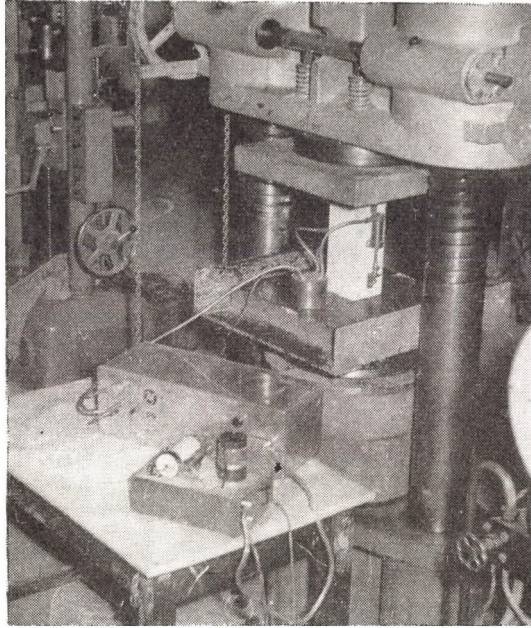
Itt említjük meg, hogy külföldön — főleg gépészeti vonalon használt — egyes nyomásjelző típusoknál magas vivőfrekvenciát alkalmaznak (1—2 megaciklus/mp), ami nehézséget okoz a szerelésben. Hazai kísérletek azonban azt bizonyítják, hogy gondos kivitelezés mellett megfelelő mérőhíd alkalmazásával kis vivőfrekvenciák (700—1000 Hz) esetében is lehet pontosan mérni. Ismeretes, hogy a kondenzátorok kapacitását módosítani lehet akár a fegyverzetek térközének, akár a fegyverzetek effektív területének változtatásával. Eszerint tehát a felvevőkészülékek (mérőelemek) két alaptípusát különböztetjük meg:

1. Térközváltozáson alapuló felvevők,
2. Területváltozáson alapuló felvevők.

\* A tanulmány a II. sz. Hidépítéstani Tanszéken, dr. Palotás László egyetemi tanár vezetése mellett készült.

A jelenleg folyó kísérleteink olyan kapacitív mérőelemek kialakítását és alkalmazásának módját célozzák, amelyek lehetővé teszik a beton tulajdonságainak az előzőekben ismertetett igények és szempontok alapján való vizsgálatát.

E cél érdekében két felvevőtípust alakítottunk ki, amelyek térköz-változáson alapulnak. Az első típusú mérőelem hengeres kondenzátor, mely a törésig igénybe vett beton teljes alakváltozását regisztrálja a nyomóerő



1. ábra

függvényében (1. ábra), a második típus igen kisméretű „kondenzátorbéllyeg”, mely a beton belsejében levő nyomások, illetve összenyomódások indikálására szolgál (2. ábra). Az ábrán bemutatott 2 cm átmérőjű, rézlemezről készült béllyegek kisméretű vasbeton szerkezetbe is elhelyezhetők és az alakváltozások évek múlva is mérhetők.

Az első típusú mérőelemet és a regisztráló mérőműszert Ambrózy András és Tarnay Kálmán okl. elektromérnökök, valamint Tari István okl. gépészmérnök tervezte, a második típusú felvevőfej pedig Margalit Ödön javaslata alapján készült.

Az első típus elvi ismertetése: A vizsgálandó betonpróbatest két oldalára 250 mm alaphosszúságon fölerősített — robusztus méretű — mérőelemek, hengeres kondenzátorok, melyek szerkezeti megoldása olyan, hogy a beton alakváltozásának hatására az egyik kondenzátor kapacitása a hosszváltozással arányosan csökken, a másiké pedig nő.

Az arányossági tényező

$$\alpha = 1 \text{ pF/mm (pikofarad/milliméter).}$$

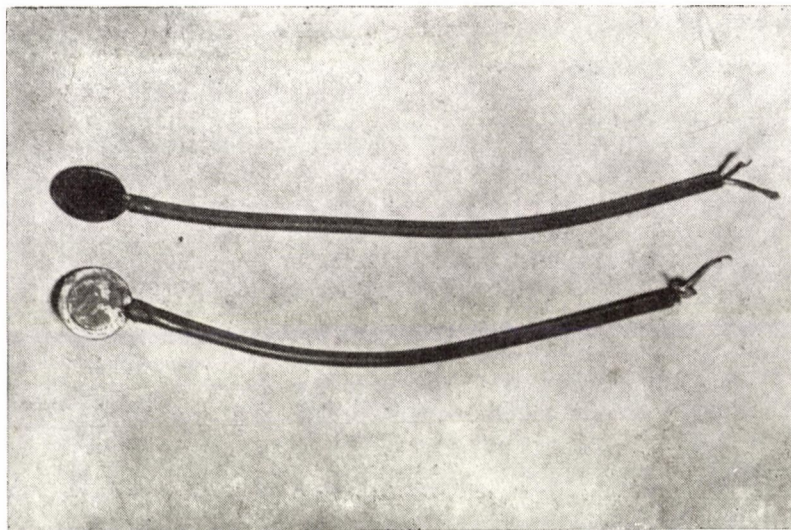
Az egyik kondenzátor  $\Delta l_1$  hosszváltozás esetén tehát az eredetileg beállított  $C_0$  kapacitásról

$$C_1 = C_0 + \alpha \Delta l_1 \quad (1)$$

értékűre, a másik pedig

$$C_2 = C_0 - \alpha \Delta l_2 \quad (2)$$

értékűre változtatja kapacitását.



2. ábra

E kondenzátorok egy differenciálhídban helyezkednek el, melyet egy 800 Hz körüli hangfrekvenciás generátor táplál. A differenciálhidat a mérés kezdetén a kondenzátorok kapacitásának szabályozásával kiegyenlítjük. A kiegyenlített differenciálhíd kimenőfeszültsége

$$V_{ki} = V_0 \frac{1}{2} \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{2} V_0 \frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} \quad (3)$$

Behelyettesítve a  $C_1$  és  $C_2$  előző értékeit, a kapacitásváltozások hatására a differenciálhíd

$$V_{ki} = - \frac{\alpha V_0}{4 C_0} (\Delta l_1 + \Delta l_2) \quad (4)$$

nagyságú kimenőfeszültséget ad.

A kimenőfeszültség a két mérőelem hosszváltozásának összegével tehát a betontest átlagos összenyomódásával arányos.

A differenciálhíd kimenőfeszültségét elektroncsővel működő differenciál-erősítő erősíti. E differenciál-erősítőt a regisztráló dob tengelyén levő potencióméter és a differenciálhíd kimenőfeszültségének különbsége vezérli.

A differenciál-erősítő kimenete egy fázisdetektorra csatlakozik. A fázis-érzékeny fokozat a generátorból érkező referenciafeszültség segítségével érzékelni tudja a hídfeszültség fázisát, vagyis az alakváltozás irányát. A fázis-detektor mágneses tengelykapcsolót működtet, amely mindaddig forgatja a dobot — a két ellentétes irányban forgatott elektromágnesek segítségével —, amíg a differenciál-erősítő kimenőfeszültsége zérusra nem csökken. Ekkor az elektromágnesek gerjesztése megszűnik és a dob megáll. A két feszültség közötti különbségképzés miatt a regisztrálódob állandóan követi a differenciálhíd kimenőfeszültségének változásait, ennek következtében elfordulása az alakváltozással arányos.

Az erővel arányosan elmozduló írószerkezet mozgatását FMV gyártmányú villamos tengely végzi. Az adó-szinkró a nyomógép erőmutatójának tengelyére van ékelve a vevő-szinkró pedig zsinórhajtással mozgatja az írószerkezetet. A betonpróbatétel teljes alakváltozása ily módon regisztrálható, mivel a mérőelemek mérőképessége nagy és a műszert sem veszélyezteti a próbatétel törése.

A második típus elvi ismertetése :

a „kondenzátorbéllyeg” kapacitását a fegyverzetek térközének függvényében az alábbi összefüggés adja :

$$C = \frac{F E}{3,6 \pi t} (pF) \quad (5)$$

ahol  $C$  = a kapacitás pikofaradban (pF)

$F$  = a lemez területe  $\text{cm}^2$ -ben

$t$  = a lemezek térköze  $\text{cm}$ -ben

$E$  = dielektromos állandó.  $E$  értéke levegőre egységnyi.

A hiperbolikus összefüggés miatt igen keskeny réseket és kis kitérés-tartományt kell alkalmazni, hogy megközelítőleg lineáris összefüggés legyen elérhető. Ennek érdekében nagy dielektromos állandójú anyagot (polietilén vagy csillám) helyezünk a fegyverzetek közé ezáltal egyrészt csökkentjük az ekvivalens légrést — ami az érzékenységet fokozza —, másrészt kisebb mértékű fegyverzetkitérést teszünk lehetővé —, ami a linearitást javítja.

Ezen elv alapján működik a bemutatott felvevőelem, mellyel a beton belsejének alakváltozásai indikálhatók. A beépített kondenzátor igen kis-méretű, így a beton homogenitását nem zavarja. Az igen vékony lemezek merevsége a beton rugalmassági modulusa mellett elhanyagolható és így a lemezek térközének változása azonos a környező beton összenyomódásával.

E feltételek alapján a beton fajlagos összenyomódása ( $\varepsilon$ ) a kapacitásváltozásból ( $\Delta C$ ) a következő összefüggés alapján számítható :

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{C_0 + \Delta C}$$

ahol  $C_0$  = a kezdeti kapacitás.

A kondenzátorbélgyegekhez tervezett megfelelő híd közbeiktatásával az összenyomódások az előző fejezetben ismertetett készülékkel szintén regisztrálhatók a nyomóerő függvényében.

A beton belsejében uralkodó nyomások indikálására szolgáló felvevőfejek főrésze egy rögzített szigetelt lemez, szorosan rászerezve egy rugalmas diafragmára, amely az alkalmazott nyomás hatására behajlik és megváltoztatja a légrést.

A kerületén befogott körlap „ $p$ ” egyenletes nyomás okozta behajlása a középpontban

$$W = a \frac{F^2}{\pi h^3} p$$

ahol  $F$  = a lemez területe  
 $h$  = a lemez vastagsága

$$a = \frac{3}{16} \frac{(1 - \mu^2)}{\pi E}$$

$\mu$  = Poisson-féle szám  
 $E$  = az anyag rugalmassági modulusa.

A diafragma kidomborodása figyelmen kívül hagyható, így az (5) alatti összefüggés alapján a „ $p$ ” egyenletes nyomás okozta kapacitásváltozás

$$\Delta C = a \frac{h^3 E_d}{F} p. \quad (6)$$

Itt  $E_d$  = a dielektromos állandó.

Megemlítjük, hogy tapasztalataink alapján célszerűbb a mérőelemek kapacitásváltozását a (6) összefüggés helyett tényleges erővel kalibrálni és meghatározni a  $C = f(p)$  függvénykapcsolatot. Az elméleti összefüggést ugyanis nagymértékben befolyásolja a diafragma kerületi befogása és számítással figyelembe nem vehető más tényezők is. A kapacitásváltozás természetesen itt is megfelelő mérőhíd segítségével regisztrálható, illetve mérhető.

E rövid beszámolóban ismertetett módszerek és mérőelemtípusok korántsem merítik ki a kapacitív felvevők, illetve indikátorok valamennyi fajtáját és alkalmazási módját, annál is inkább, mivel a területváltozáson alapuló felvevőkről nem is beszéltünk. Számos elképzelés és megoldás lehetséges. Az itt közölt módszerek ismertetése sem teljes, hiszen a kísérletek még folyamatban vannak és még sok kérdés tisztázásra szorul. Reméljük azonban, hogy — addig is amíg a kísérletek befejezésével részletesen beszámolhatunk az eredményekről — e rövid ismertetőnk is segítséget jelent a kapacitív mérőmódszerek alkalmazóinak.