

Az optimális vízcementtényező meghatározása elektromos úton*

Irta: NÁRAY-SZABÓ ISTVÁN és SZUK GÉZA

A beton helyes víztartalmának meghatározása és betartása a legnagyobb fontosságú, mert a víztartalom tudvalévőleg a legnagyobb mértékben befolyásolja a beton szilárdságát és más tulajdonságait. Jó betont készíteni és a cementet racionálisan kihasználni csak a víztartalom kellő szabályozásával lehet.

Minden szakember tudja azonban, hogy a vízadagolás kérdését a gyakorlatban teljesen elhanyagolják olyannyira, hogy úgyszólván anarchisztikus állapotban van. Ennek az az oka, hogy a helyes vízadagolás, másszóval a helyes vízcementtényező¹ megállapítása kísérleti úton — különböző betonkeverékekből készült próbakockasorozatok szilárdságának 28 nap múlva történő meghatározásával — igen fáradságos és hosszantartó, a különböző képletek pedig, amelyeket a víztartalom előrebecslésére felállítottak, nem adnak kielégítő eredményt.²

A vízcementtényező csökkentése növeli a szilárdságot, de csak egy bizonyos határig. A maximális szilárdság elérésére az ún. *optimális vízcementtényező*³ kell alkalmazni, tehát egy bizonyos meghatározott vízmennyiséget kell adagolni a száraz betonkeverékhez. Az optimális vízcementtényező biztosítja a cement legkedvezőbb kihasználását adott összetételű betonban szilárdsági szempontból. Az optimális vízcementtényezővel készített beton földnedves, tehát igen sok esetben nem dolgozható be. Ha azonban a betonkeverék optimális vízcementtényezőjét ismerjük, akkor ehhez képest mindig pontosan be lehet állítani a megkívánt plaszticitású betont, így a primitív és teljesen megbízhatatlan eredményű próbálgatás helyett szabatos és megbízható vízadagolást végezhethünk.

Tekintettel arra, hogy a beton vízszükségletének előrebecslésére teljesen jól felhasználható képletet felállítani még nem sikerült, jelentős gyakorlati értékű olyan eljárás kidolgozása, mely a betonkeverék vízszükségletének és az optimális vízcementtényezőnek kísérleti meghatározására alkalmas. Az alábbiakban egy ilyen, a nedves betonkeverék elektromos ellenállásán alapuló, általunk kidolgozott módszert ismertetünk.

1. Nedves homok elektromos ellenállása

Ha száraz homok elektromos ellenállását megmérjük, akkor azt nagyon nagynak találjuk. Adjunk most ismert mennyiségű, pl. 1 súlyszázalék

(* ÉTI Laboratóriuma.)

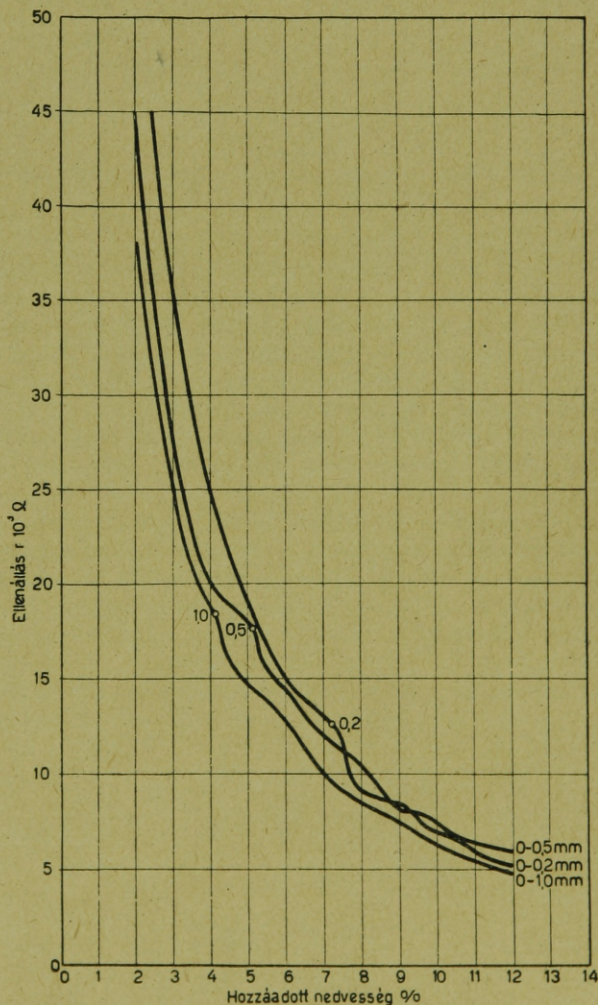
¹ A vízcementtényező $= v/c$, ahol v az 1 m³ beton készítéséhez használt víz súlya, c pedig az 1 m³ betonhoz használt cement súlya.

² A vízadagolás elhanyagolásának további okai: 1. nincsenek megfelelő vízadagoló berendezések, 2. nem súly szerint történik a kimérés, 3. nem ismerik az adalék nedvességtartalmát.

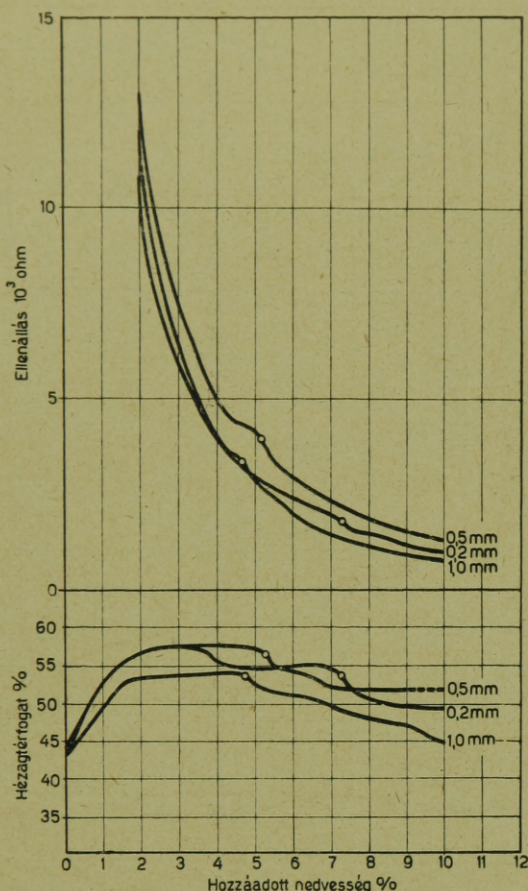
³ Ez az a legkisebb vízmennyiség, mellyel adott bedolgozási mód mellett a beton még a térfogatsúly csökkenése nélkül tömöríthető.

(a következőkben röviden 1%) vizet a homokhoz és alaposan kerverjük össze, hogy a nedvesség egyenletesen oszoljék el, majd mérjük meg újból az ellenállást; most már sokkal kisebb és mérhető ellenállást kapunk, melynek értékét feljegyezzük. Újabb, ismert vízmennyiségek adagolásával megismételjük az eljárást, ekkor az ellenállást a százalékos víztartalom függvényében felrajzolva az 1. ábrán látható görbéket kapjuk. Ezek mindegyike egy helyen törést mutat, mely annál nagyobb víztartalomnál lép fel, minél kisebb a homok szemmagysága. Megállapítható, hogy a töréspont annál kisebb nedvességtartalomnál mutatkozik, minél nagyobb a fajlagos felület. A két mennyiség tehát szoros összefüggésben van egymással.

A mérést mindenkor váltakozó árammal kell végezni, mert egyenáram használatánál a polarizáció következtében nem kapunk használható eredményt. A vizsgálandó homokot szigetelőanyagból készült, derékszögű, 7×7×10 cm méretű ládikába helyezzük, melynek véglapjain



1. ábra. Különböző max. szemmagyságú homokok elektromos ellenállása a hozzáadott víz százalékának függvényében. Mérési táv: 100 mm. Elektroda: vörösréz. Elektroda felület: 70×70 mm. Szemmagyságok: 0–0,2 mm, 0–0,5 mm, 0–0,1 mm. A mérési adatok lazán beeresztett homokra vonatkoznak.



2. ábra. Homok szemnagyságának és az ellenállási görbe töréspontjának összefüggése.

7×7 cm méretű rézlemezekből készült elektródok foglalnak helyet. A homokot lazán töltjük a ládába, hogy azt teljesen kitöltse, felületét vonalzóval vízszintesen lesimítjuk. A homok lemért súlyából a fajsúly és az ismert nedvességtartalom segítségével meghatároztuk a ládába töltött homok hézagterfogatát is, melyet a nedvességtartalom függvényében, százalékokban kifejezve a 2. ábra mutat.

Legkisebb a száraz homok hézagtartalma; nedvesség hozzáadására a hézagtartalom először nő, mert a nedves szemcsék egymáshoz tapadnak és „boltozatok” alakulnak ki, minek következtében nem tömörülnek annyira össze, mint a száraz homok egymáshoz nem tapadó szemcséi. A hézagtartalom növekedése 2% nedvesség elérésénél majdnem megszűnik és innen kezdve aránylag hosszú szakaszon közel állandó marad, majd hirtelen esni kezd és a görbén törés lép fel. A görbe újabb kísérletekkel reprodukálható. A vezetőképességi görbe ugyanennél a nedvességtartalomnál mutat törést, amiből a vezetőképesség és a hézagtartalom szoros összefüggése látható. Különböző szemcsenagyságú homokoknál a törés úgy tolódik el, hogy minél nagyobb a fajlagos felület, annál nagyobb nedvességtartalomnál lép fel a törés. Ha pedig kiszámítjuk, hogy ismert fajlagos felületű homokoknál mekkora a szemcséket bevonó folyadékhártya vastagsága a töréspontban, akkor azt látjuk, hogy ez a vastagság közel állandó.

Vizsgáljuk meg a homok vagy kavics megnedvesítésének folyamatát részletesebben; azt látjuk, hogy

1. a szemcsék felületének egyes helyein bizonyos minimális vastagságú folyadékhártya keletkezik (ez mikroszkóppal kimutatható);

2. a nedves foltok kiterjedése növekszik mindaddig, amíg az egész felület be nem vonódik vízzel; eközben a hézagterfogat nő.

3. Ettől kezdve egy ideig csak a folyadékhártya vastagsága növekszik, a hézagterfogat viszont közel állandó marad, az elektromos ellenállás a vezető folyadékhártya vastagságának növekedése következtében csökken.

4. Bizonyos rétegvastagság elérése után megkezdődik a szemcsék közti hézagok kitöltése; a vezető keresztmetszet ekkor gyorsabban nő, tehát az ellenállás gyorsabban esik, mint az 1—3 szakaszokban. Ezen a helyen mutat törést a vezetőképesség görbéje.

5. A hézagoknak folyadékkal való teljes kitöltése után további víz hozzáadására a hézagok növekedni kezdenek, tehát az ellenállás tovább csökken, de már csak lassan.

Hogy a hézagterfogatnak milyen fontos, sőt döntő szerepe van az mutatja, hogy többszöri ütés (leejtés) segítségével tömörített és ennélfogva csökkent hézagtartalmú homok ellenállása a tömörítés mértékével párhuzamosan kisebbedik.

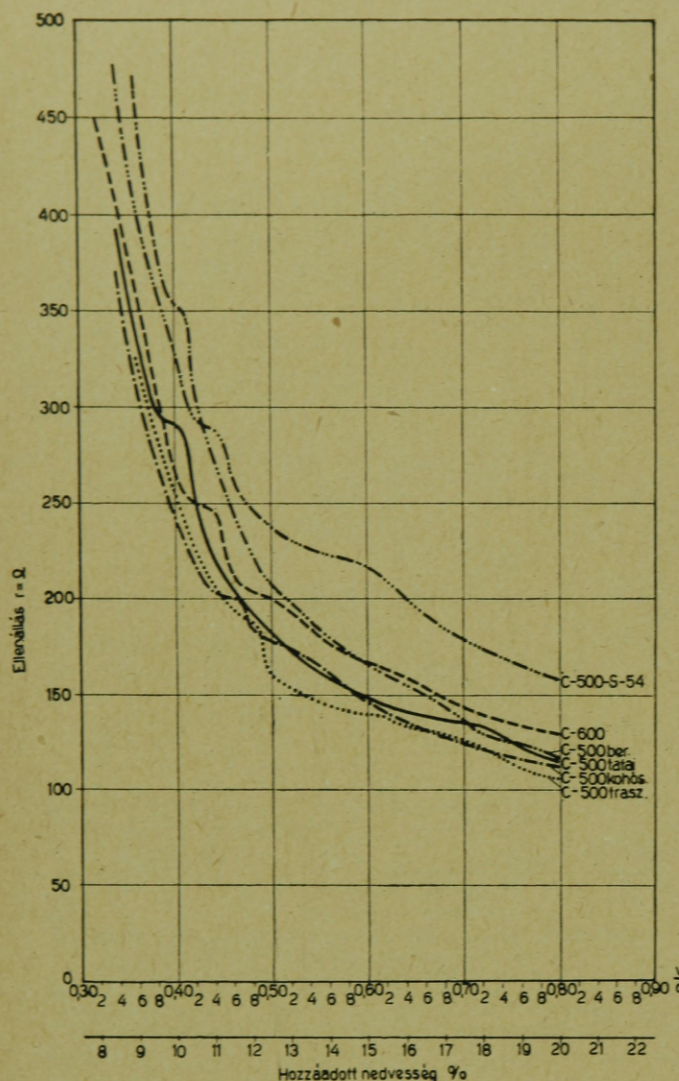
2. Cementpép elektromos ellenállása

Száraz cementpor ellenállása rendkívül nagy, de ha kevés vizet adunk hozzá és jól összekeverjük, akkor az ellenállása erősen csökken és a víztartalom növekedésével meredeken esik. Ez addig tart, míg a cement kezd csomókká összeállni (3. ábra, A. pont); ettől kezdve az ellenállás egy darabig állandó vagy alig csökken, míg eléri a B. pontot, amelyben a pép már plasztikus. Tovább emelkedő víztartalomnál az ellenállás ismét közel állandó marad, majd újabb gyenge esés következik a C. pontig, ahol a pép folyóssá válik. Ettől kezdve további víz hozzáadására alig van változás.

Látható, hogy a cement elektromos ellenállása a víztartalommal egészen másképp változik, mint a homoké. A beton vízcementtényezője legalább 0,30—0,32 szokott lenni, és amikor a cementpép maga már folyós, vezetőképessége alig függ többé a víztartalomtól. — Mi történik akkor, ha homokot vagy homokos kavicsot szárazon összekeverünk cementporral és megvizsgáljuk ellenállásának alakulását a hozzáadott víz mennyiségének függvényében?

Ezt a kérdést megvizsgáltuk egyrészt cementből homok hozzáadásával készített habarcsokon, másrészt homokos kavics hozzáadásával készített betonokon. Az eredmény mindkét esetben azonos volt; az ellenállás görbéje a hozzáadott víz mennyiségével állandóan esik, de mindig volt egy pont, amelyben hirtelen meredekebb esés mutatkozott. A nedves beton ellenállásának görbéje bizonyos víztartalomnál törést (inflexiót) mutat (4. ábra).

A törés kivétel nélkül minden esetben fellép. — Ha az eljárást ugyanazzal a száraz keverékkel meg-



4. ábra. Különböző cementekkel készült habarcsok elektromos ellenállása a vízcementtényező függvényében (0–1,0 mm-es homokkal).

Mérési táv: 100 mm. Elektroda: vörösréz. Elektroda felület: 70x70 mm. Keverési arány: cement 1, homok 3. Homok: 0–0,1 mm. Cement: C-500 tata tatabányai portland, C-500 ber beremendi portland, C-500 kohós, belpátfalvai kohósalak, C-500 trasz tatabányai trasz, C-500 S 54 lábatlani különleges portland, C-600 tatabányai portland.

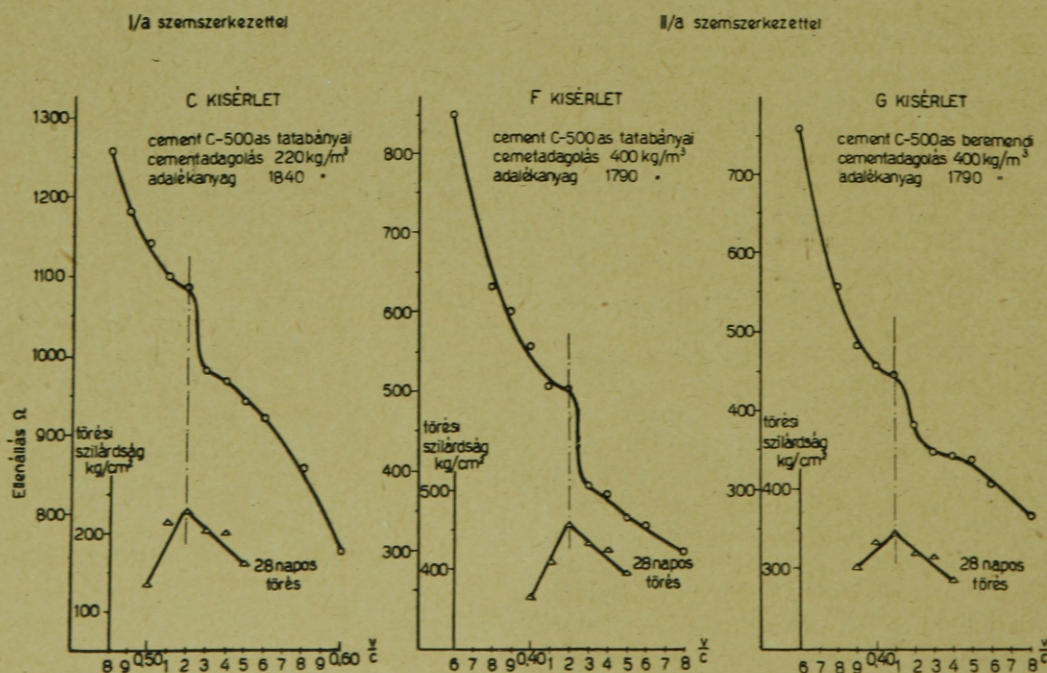
A 4. pont természetesen nem jelentheti azt, hogy annyira lemenjünk a vízadagolással, hogy a tapadás ne legyen jó és a pép ne tudja a hézagokat kitölteni, hanem az 1–3 pont feltételeknek is teljesülni kell.

Laza, friss beton ellenállási görbéjénél a törés akkor következik be, amikor a hézagok kitöltése megkezdődik; ez jelzi egyszersmind azt is, hogy a szemcsék felületét a pép már teljesen bevonta. Az optimális szilárdságnak ez azonban csak előfeltétele, a maximális szilárdság jó bedolgozással érhető el.

5. A bedolgozható beton vízcementtényezője

A bedolgozható beton plaszticitását az elvégzendő munka természete határozza meg, tehát nem lehet az alkalmazandó vízcementtényezőt elméletileg pontosan előrebecsülni. Ha azonban ismerjük a tényleg felhasznált adalékhoz és meghatározott cementadagoláshoz tartozó, helyszínen megállapított optimális vízcementtényezőt*, akkor rövid kísérletezéssel könnyen megállapíthatjuk, hogy az ép megkívánt plaszticitású beton vízcementtényezője mennyivel nagyobb az optimális vízcementtényezőnél, a betonkészítésnél tehát pontosan ezt a vízmennyiséget adjuk az előírt száraz keverékhez. Így a vízadagolás exakt alapra helyeződik és kétségtől a legjobb lesz — természetesen akkor, ha fentieket valóban be is tartjuk.

* Ez a kézi bedolgozásra vonatkozik.



5. ábra. Különböző összetételű, frissen kevert betonok elektromos ellenállásának és 28 napos kockaszilárdságának összefüggése.*

6. Az optimális vízcementtényező összefüggése a tömörítéssel

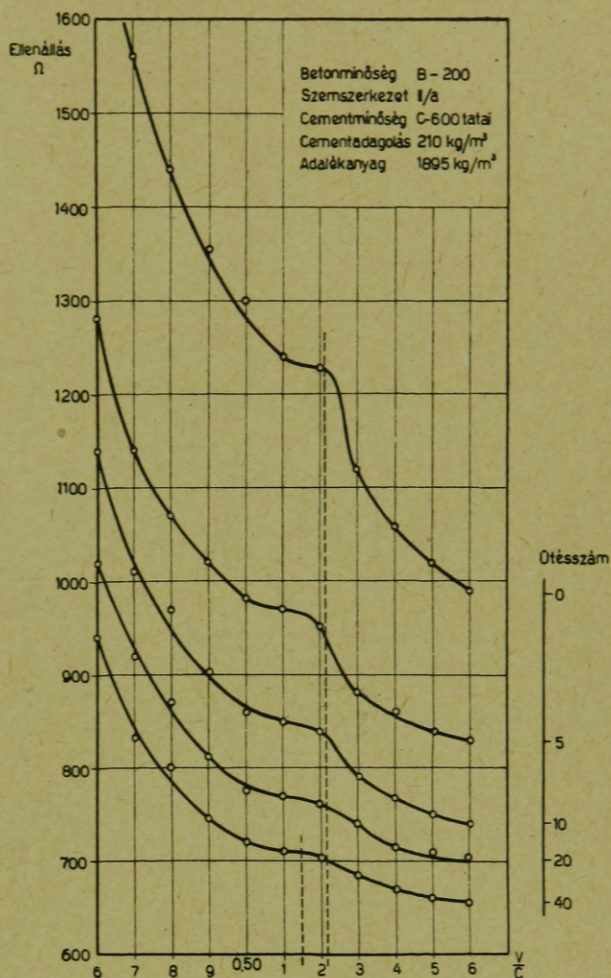
Az optimális vízcementtényező értékét a bedolgozás, azaz tömörítés módja is befolyásolja, ezért ebben az irányban is végeztünk kísérleteket, melyek még folyamatban vannak. Meghatározott összetételű cement és adalék keverékéhez ismert mennyiségű vizet adagoltunk, majd alapos összekeverés után a mérőedénybe a keveréket lazán betöltöttük és lesimitottuk. Ezután meghatároztuk a friss beton elektromos ellenállását, majd a mérőládára kartonpapírból 3 cm magas toldalékot illesztettünk és ezt is megtöltöttük ugyanilyen friss betonnal. Ezt szabványos habarestömörítő készülékre helyezve, 5 ütéssel tömörítettük. A toldalékot levettük, a beton felületét a láda szintjén lesimitottuk s az ellenállást újra lemértük. A toldalékot ismét visszahelyezve, a ládát újra feltöltöttük friss betonnal. A további 5 ütés után a láda felületét lesimitottuk, majd az ellenállást, mely most már 10 ütésnek felelt meg — újra megmértük. Hasonló módon határoztuk meg 20, 30 és 40 ütés után is az ellenállást. A vízcementtényező végig állandó maradt.

Amint várható volt, az ütések számával, vagyis a tömörítéssel az ellenállás erősen csökkent. A 6. ábrából kitűnik, hogy a görbék lefutása lényegileg ugyanolyan marad, mint tömörítés nélkül, de a görbék laposabbak és a törés annál kisebb, minél nagyobb mértékű a tömörítés. Az is látható, hogy az első ütések nagymértékben csökkentik az ellenállást, a következők pedig mindig kevésbé. Leglényegesebb az, hogy a törés helye mindkét kísérletnél csak egészen kis mértékben tolódott el kisebb vízcementtényező felé, az eltolódás 0,01-on belül maradt. Tapasztalat szerint az erősen vibrált cement optimális vízcementtényezője ugyanolyan összetételűnél kisebb, mint a kézzel döngölt betoné, de ennek a kérdésnek tüzetesebb megvizsgálása további munka tárgya lesz.

Ha az adalékszemcsére nagyobb erőt fejtünk ki, mint amekkora kézi bedöngölésnél elérhető, tehát a betont vibráljuk vagy centrifugáljuk, akkor a szemcse kevesebb vizet tartalmazó, szívósabb pép esetén is elmozdulhat, így jó tömörítés kisebb vízcementtényezőnél is elérhető. A vízcementtényező csökkentése pedig, amíg csak a kritikus 0,20—0,23 érték alá nem megyünk, a szilárdságot növeli. Így a vibrálás a tömörséget két okból is emeli, egyrészt a hézagok kitöltése tökéletesebb, másrészt a cementpép víztartalma csökken. Ez lehetővé teszi a megszilárdult és kiszáradt betonban a hátramaradó pórusok térfogatának csökkentését.

7. Befejezés

Munkánk előzetes eredményeit megküldtük külföldi intézeteknek és szakembereknek is, akik közül többen érdeklődésüket fejezték ki; így a CNIPSZ (Gyeszov professzor) az Ausztráliai Építéstudományi Intézet, a Dán Építéstudományi Intézet, az Otto Graf Intézet (Stuttgart), az Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid stb.



6. ábra. Készrekevert beton elektromos ellenállása tömörítés esetén.

Az eljárás alkalmas arra, hogy tetszőleges betonkeverék optimális vízcementtényezőjét kísérleti úton, gyorsan és megbízhatóan meghatározza. Ezért az Építésügyi Minisztérium Műszaki Főosztálya a racionalizálási és újítási javaslatok közt RUJ-7-56 számmal közzétette az eljárást. A röplap szövegében a szükséges felszerelés részletesen fel van sorolva és az eljárás kiviteli módja olyképpen leírva, hogy minden szakképzettség nélkül, egyszerűen a leírás betartásával félórán belül elvégezhető. Úgy hisszük, hogy ez az eljárás lényeges cementmegtakarítást tesz lehetővé a cement legjobb kihasználásának biztosítása folytán, miáltal kisebb keresztmetszeteket lehet alkalmazni s így a cementen kívül adalékanyagot, fuvarköltséget és zsámozást is megtakarítani. Talán még fontosabb ennél az, hogy a beton készítésénél az egyenletes minőség betartása és a beton minőségének megbízható ellenőrzése egyszerű módon lehetővé válik, ami a jelenlegi állapottal szemben óriási haladást jelentene. Indokoltnak látszik tehát, hogy ezt a módszert nagyobb építkezéseknél széles körben bevezessék.

Az eljárást az Intézet laboratóriumában és a Hídépítő vállalatnál kivitelező szakemberek előtt több ízben bemutattuk.