

A BETONVIZSGÁLAT MEGBÍZHATÓSÁGÁRÓL

Bevezetés

Épületek tervezése lényegében összehasonlítás, amelynek során a külső terhekből fellépő igénybevételeket hasonlítjuk össze a szerkezet belső szilárdsági adottságaiból számított teherbírással. A statikai vizsgálatnak tehát magában kell foglalnia a terhelési és szilárdsági értékek, valamint a bizonytalanságok ismeretében a szükséges biztonsági többlet megállapítását is.

A biztonsági tényező megállapításánál a méretezési és szilárdsági jellemzők valószínű szórását, illetve változékonyságát is célszerű figyelembe venni. E kérdéssel *Besler* foglalkozott részletesebben. Megállapította, hogy az összes méretezési bizonytalanság a tervezési és szilárdsági jellemzők eredő variációs koefficiensével vehető figyelembe. Az eredő variációs koefficiens a mértékadó (V_M) és törő-igénybevétel (V_T) variációs tényezőjéből a biztonsági tényező (n_0) figyelembevételével az alábbi összefüggésből számítható:

$$V_r = \sqrt{\frac{1}{(n_0 - 1)^2} V_M^2 + \left(\frac{n_0}{n_0 - 1}\right)^2 V_T^2}.$$

Látható, hogy a bizonytalanságokat jelölő eredő variáció (V_r) alakulásában a szerkezeti anyagot jellemző szilárdsági érték variációjának lényegesen nagyobb a szerepe, mint a mértékadó igénybevételek megállapításánál figyelembe vett terhelési értékek bizonytalanságából adódó variációnak. Az aránymutató változása a biztonsági tényező négyzetével jellemezhető, tehát az építőipari gyakorlatban általában szokásos biztonsági tényezők esetében ($n_0 = 1,1 - 1,5$) az aránymutató 1,21 – 2,25 értékig emelkedik. A fenti megállapítás figyelmeztet arra, hogy munkánk során az anyagok szilárdsági jellemzőinek megállapítására fokozottabb gondot kell fordítanunk. Laboratóriumi vizsgálatainkat tehát úgy kell végeznünk, hogy a tervezés, illetve ellenőrzés részére a szilárdsági jellemzőket minden esetben *azonos biztonsággal* adjuk meg, hogy ezáltal lehetővé tegyük a tervezők részére a pontosabb és gazdaságosabb tervek készítését, valamint a használat során a szerkezet teljes teherbírásának kiaknáztathatóságát. Az alábbiakban a kavicsbeton szilárdságának megállapítására és értékelésére vonatkozó gyakorlattal foglalkozunk.

A feladat ismertetése

A beton nyomószilárdságának megállapítására általában a 20 cm élhosszúságú kocka alakú próbatest alkalmazása van előírva. Bizonyos esetekben azonban megengedett, eltérő élhosszúságú próbatest alkalmazása is. Ez esetben az

eltérő élhosszúságú próbatest nyomószilárdságának ismeretében egyszerű átszorzással állapítjuk meg a 20 cm élhosszúságú próbatestnek megfelelő nyomószilárdságot. Ennek az eljárásnak helyessége nyilvánvalóan kétséges, hiszen a próbakocka élhosszúságának változásával nemcsak a szilárdsági érték változik számszerűen, hanem változik az értékek szórása is. Ebből következik, hogy a szórás változásának figyelmen kívül hagyása esetén, a beton szilárdságát nem állapítjuk meg azonos biztonsággal, így a szilárdságvizsgálat előbbiekben vázolt követelményét a *minősítés azonos biztonságát* nem elégítjük ki. A vizsgálat biztonsági szintjének tartása miatt tehát a vizsgálat körülményeit úgy kell előírni, hogy bármely nagyságú próbatest vizsgálatával azonos megbízhatóságú értéket nyerjünk.

Elsősorban a vizsgálat biztonsági szintjének fogalmát kell rögzíteni. A vizsgálat biztonságán azt a mértéket értjük, mely mutatja, hogy a próba vizsgálati eredményei alapján, milyen valószínűséggel tudunk a teljes halmaz jellemzőjére tájékoztatást kapni, azzal a feltételezéssel, hogy a vizsgálatok eredményeinek eloszlása követi a teljes halmaz eloszlását. A próba biztonságának mérőszámára a matematikai statisztikában a konfidencia intervallum használatos. Ez azt a szakaszt adja meg a vizsgálati eredmények közepének két oldalán, ahol a vizsgálati eredmények által jellemzett teljes halmaz tényleges középértéke adott valószínűséggel elhelyezkedhet.

A konfidencia intervallumot a

$$K = \frac{t_0 S}{\sqrt{n}}$$

összefüggéssel lehet meghatározni. Esetünkben célszerűbb a konfidencia intervallummal arányos, a mérési eredmények középértékével torzított fajlagos értéket alkalmazni. Az előbbi összefüggés tehát a következőképpen módosul:

$$K' = \frac{t_0 S}{\bar{X} \sqrt{n}} = \frac{t_0 V}{\sqrt{n}}$$

Fenti képletben

- K = konfidencia intervallum
- K' = fajlagos konfidencia intervallum
- S = a próba eredményeinek szórása
- n = a próba darabszáma
- \bar{X} = a próba eredményeinek közepe
- t_0 = a Student eloszlás szerinti szorzó
- V = a próba variációja

E mennyiség alkalmazásával a vizsgálat eredményeinek megbízhatóságára kapunk egy mérőszámot. *A szilárdsági jellemzők azonos biztonsággal való megállapításához a vizsgálat körülményeit tehát úgy kell meghatároznunk, hogy e mérőszám minden esetben azonos legyen.*

Kísérletek leírása

Az előbbiek ismeretében a betonpróbakockák vizsgálati megbízhatóságára jellemző, a teljes halmazból vehető próbák legnagyobb — tehát legkedvezőtlenebb — fajlagos konfidencia intervallum értékének meghatározására az

Építéstudományi Intézetben vizsgálatokat folytattunk. Első lépésként ellenőrizni kívántuk, hogy az üzemben gyártott összetételű betonból vett próbák nyomószilárdságának eloszlása — a feltételezések szerint — normális eloszlásnak tekinthető-e. Ennek eldöntésére felhasználtuk a DCM építkezés 1961. év első félévi kockapróbáinak eredményét. A normalitás vizsgálatára a *Geary-próbát* használtuk. E vizsgálat azon alapszik, hogy nagyminta esetén a szórás és az átlagos abszolút eltérés hányadosa normális eloszlás esetén 1,25. Vizsgálatunk alkalmával e hányados 1,23-ra adódott, így az üzemben gyártott betonokból vett minták eredményeinek normális eloszlását némileg sikerült igazolni.

Előbbi megállapításaink tehát szerkezeti beton vizsgálatának értékelésénél felhasználhatók. Kísérletünk feladata volt, hogy felvilágosítást kapjunk egy elemeiben ismert halmazból vehető legkedvezőtlenebb próba szórása, illetve annak fajlagos értéke, a variációs koefficiens (V) és a vizsgált próbatestek darabszáma (n) közti összefüggéséről. Próbakockát készítettünk tehát egy 275 literes Jäger típusú betonkeverőből kikerülő frissbeton felhasználásával 4, 7, 10, 15, 20, 30 cm élhosszúsággal, a készített betonmennyiségnek megfelelően oly mennyiségben, hogy az elkészült próbatestek száma mindegyik méretnél közel azonos legyen.

Az adalék legnagyobb szemmagyságának hatását is vizsgálat tárgyává kívántuk tenni, ezért 15, 30 és 60 mm legnagyobb szemmagyságú adalékkal készítettük az előbbi 6 méretből álló próbatest sorozatot.

A fenti próbatestekhez felhasznált beton mennyisége kb. 20 m³ volt.

Az alkalmazott adalékanyag dunai homokos kavics volt, melynek szemszerkezetét a svájci szabályzat ajánlotta

$$a = 50 \left(\frac{d}{D} - \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

képlet alapján állapítottuk meg, ahol „D” a legnagyobb szemmagyság, „d” a közbelső szemmagyság méretét jelzi, „a” pedig a szemmegoszlási görbe „d” méretéhez tartozó súly %-át adja meg. Cementadagolás kb. 350 kg/m³ tatai 600-as portlandcement volt. A friss beton konzisztenciája földnedves, a Graf-féle készülékben mért behatolás 2–3 cm volt.

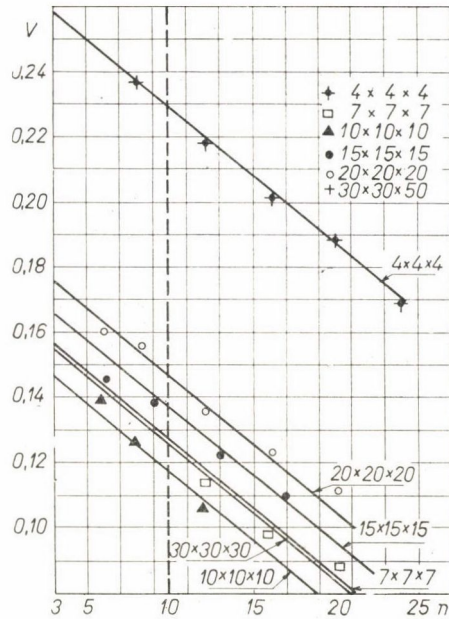
A betont a szabvány előírásainak megfelelően kézzel dolgoztuk be. A kisebb próbatestek kellő bedolgozottságának eldöntésére a 20 cm élhosszúságú, szabvány szerint bedolgozott próbakocka felső felületének nedvesedését vettük mértékadónak és minden próbatestet úgy dolgoztunk be, hogy a felső felület nedvesedése a 20 cm élhosszúságú kockáéval közel megegyezzen.

A próbatesteket általában vassablonban készítettük. Kivételt a 30 cm élhosszúságú próbakockák képeztek, melyek fasablonban készültek, így törés előtt a felső és alsó nyomófelület síkját cementhabarccsal lesimítettük.

Értékelés

A törési eredmények felhasználásával elsősorban a vizsgált elemek száma és az előállítható legkedvezőtlenebb variációs koefficiens közötti összefüggést vizsgáltuk. A két változó összefüggését az 1. ábrán mutatjuk be. Az 1. ábrán a 15 mm legnagyobb szemmagyságú adalékkal készített betonok próbatestjeinek eredményei láthatók.

Az összes vizsgálati eredményt nagyság szerint gyűjtöttük, majd az első próbát jellemző pontot ($n = 3$) a legnagyobb, a legkisebb és a medián érték összetevésével határoztuk meg. A darabszám bővítése mindig a legnagyobb és legkisebb érték után következő vizsgálati eredmények figyelembevételével történt. Ezzel elérhető volt, hogy a kérdéses próbák terjedelme azonos, a középérték közel azonos maradjon, míg a szórás a vizsgálati eredményektől függően változott. Látható, hogy a pontsorok igen jól illeszkednek a közéjük fektetett egyeneshez. A végzett kísérletek alkalmával a már említett összetételű betonok



1. ábra

vizsgálati eredményeiből megállapított legkedvezőtlenebb variációs koefficiens a vizsgálati darabszámmal minden esetben hasonló összefüggést mutat, vagyis az elemszámok szerinti variáció változás lineáris és a függvényeket jellemző egyenesek hajlása azonos ($b = 0,0042$) függetlenül attól, milyen maximális szemnagysággal készült a beton. Ez az összefüggés n -re egy elsőfokú egyenletet eredményez. A variációs koefficiens tehát a próba darabszámának függvényében

$$V = a(e) - 0,0042 n .$$

Ebben az összefüggésben tehát ismeretlen még az $a(e)$, mely végső sorban a próbakocka oldalméretének függvénye és a fenti függvényegyenesek egymáshoz viszonyított helyzetét jellemzi. Az egyenesek egymáshoz viszonyított helyzetének bemutatására szolgál a 2. ábra. Ennek az ábrának számadatai $n = 10$ esetében érvényesek. Figyelembe véve azonban az 1. ábrát, belátható, hogy más vizsgálati darabszám esetében, jellegében azonos görbét nyernünk, csupán a görbének a koordináta rendszer függőleges tengelyével párhuzamos

eltolódásával kell számolni. Látható, hogy a görbe kezdeti meredek szakasza után elhajlik, majd a minimum érték elérésével fokozatosan egy állandó értékhez közeledik.

Ez a görbe tehát jellegzetesen másodfokú racionális törtfüggvénykapcsolatnak felel meg. A variációs koeficiens ez esetben is kifejezhető analitikusan.

$$V = a - \frac{\beta}{e} + \frac{\gamma}{F}.$$

Az egyenletben

a, β, γ = kísérleti állandók

e = a próbakocka élhosszúsága (cm)

F = a próbatest nyomott felülete (cm²)

A variációs koeficiens tehát a kocka élhosszúságának, valamint a nyomott felületnek a függvénye, azzal a megszorítással, hogy az alkalmazott adalékanyag legnagyobb szemmagysága $D_{max} \leq 1/3 e$

Fentiek figyelembevételével a függvénygörbék érvényes szakaszát teljes vonallal jelöltük.

Kísérleteink adataiból következik, hogy az adalék szemmagyságának változtatásával a görbe jellegében nem változik lényegesen, csupán eltolódik. Az eltolódás mértékére az a értéke jellemző, mely tulajdonképpen a 2. ábrán bemutatott függvénygörbe aszimptotájának helyét, ezáltal a görbének a koordináta rendszerben való elhelyezkedését határozza meg.

Kísérleteink szerint a szemmagyság emelésével emelkedik a szórás értéke is.

60 mm legnagyobb szemmagysággal készített próbatestek eredményét csupán ellenőrzés céljaira használhatjuk, hiszen a kapott két pont nem elegendő a szükséges állandók megállapításához. Megállapítható azonban, hogy 60 mm legnagyobb szemmagyságú adalékkal készített beton is követi az első két eredmény sorozattal megállapított tendenciát, illetve nem mond ellen annak.

Kísérleteinknél a szemmagyság változtatásával változott a szórási minimumhoz tartozó kockaméret is. Az eredményekből látható, hogy amíg az alkalmazott adalékanyag legnagyobb szemmagysága 15 mm-ről 60 mm-re emelkedett, a szórás szempontjából optimális kockaméret 10 cm-ről a 20 cm-es érték felé tolódott el (lásd 2. sz. ábra).

Ugyancsak a 2. ábrán látható a nyomószilárdság alakulása a próbakocka oldalméretének függvényében. A változás jellemzésére a $\frac{\sigma_i}{\sigma_{20}}$ 100(%) arányt, tehát a kérdéses kockával nyert nyomószilárdságnak a 20 cm élhosszúságú kockával nyert nyomószilárdsághoz viszonyított százalékos értékét vettük. *Látható, hogy a szórási minimumhoz tartozó próbakockaméret minden esetben megegyezik azzal a kockamérettel, melyhez tartozó nyomószilárdsági érték a legnagyobb.*

Az előbbi összefüggések ismeretében feladatunk — tehát a szerkezeti beton szilárdságának azonos biztonsággal való megállapítása különböző próbakockamérések esetén — már megoldható, hiszen az ellenőrzésre kerülő betonnál vett próbakockák számát minden esetben úgy kell meghatározni, hogy a

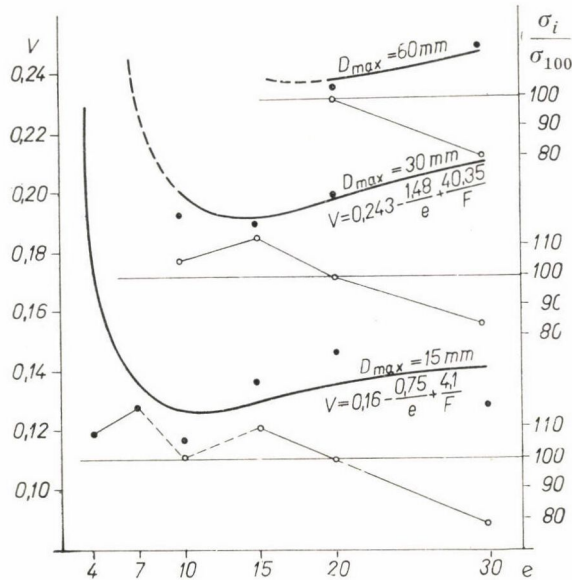
vizsgálati bizonytalanságra jellemző érték, a konfidencia intervallum fajlagos értéke minden esetben azonos legyen.

Tehát

$$\frac{t_1 V_1}{\sqrt{n_1}} = \frac{t_2 V_2}{\sqrt{n_2}}$$

A variációs koefficiensek helyére a kísérletek szerinti összefüggést helyettesítve és az egyenletet implicit alakra hozva:

$$F(n_1, n_2) = t_1 [a_1(e) - 0,0042 n_1] \sqrt{n_2} - t_2 [a_2(e) - 0,0042 n_2] \sqrt{n_1} = 0.$$



2. ábra

Fenti implicit összefüggés nehezen kezelhető, ezért a könnyebb kezelhetőség érdekében a megoldás grafikus módozatát is bemutatjuk. A 3. ábrán mutatjuk be a fajlagos konfidencia intervallum- tehát a vizsgálati biztonság- és a vizsgálati darabszám közti összefüggés függvénygörbéit kettős logaritmusos lépésekben. E görbesereg bemutatásával feladatunkat lényegében meg is oldottuk. Látható pl., hogy 10%-os bizonytalanság mellett minősítéshez a $20 \times 20 \times 20$ cm³ méretű próbakocka esetében 9–11 db., míg ugyanilyen értékű minősítéshez a 10 cm élhosszúságú próbakockából 9 db., 4 cm élhosszúságú kockákból pedig 18 db. szükséges. Megállapítható az is, hogy a 3 db-os minősítés bizonytalansága már a 40–60%-ot is eléri, tehát nagytömegű betonra vonatkoztatva e vizsgálat megbízhatósága nem haladja meg a jelenleg használatos, egyszerű, roncsolásmentes vizsgálatok (Schmidt, Szmodits kalapács, szónikus mérés) megbízhatóságát.

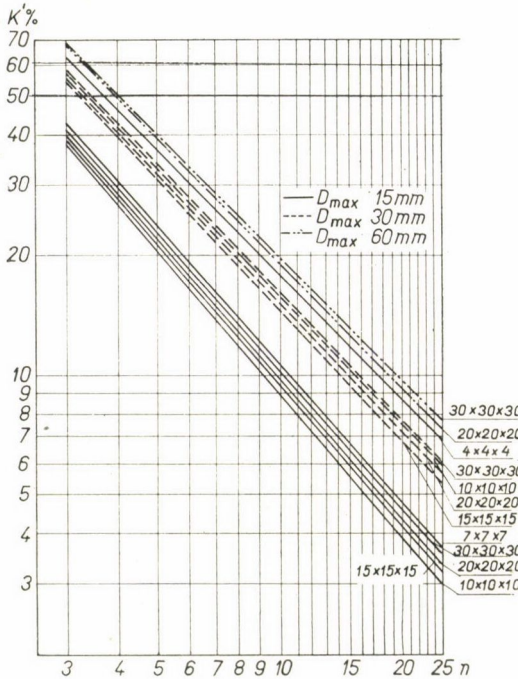
A bemutatott ábrák numerikusan csupán a rögzített betonösszetétel esetében érvényesek, de a 3. ábra az azonos betonösszetétel melletti egyenlő minősítési megbízhatósághoz szükséges próbatesterszám megállapítására bármely betonösszetétel esetében jó közelítéssel felhasználható.

Összefoglalás

Vizsgálati eredményeinkből megállapítható, hogy szerkezeti beton vizsgálatnál

a) a jelenlegi gyakorlat szerint a betonszilárdságot 95%-os valószínűségi szinten 20–35%-os bizonytalanság mellett tudjuk csak megállapítani.

b) 10%-os hibahatárral 95%-os valószínűségi szint mellett a szükséges próbatestek száma 10–15 db-ra tehető.



3. ábra

c) Ha a betonszilárdságot a szabványtól eltérő méretű próbatesteken vizsgáljuk, akkor a vizsgálandó próbatestek számát is meg kell változtatni oly mértékben, hogy a vizsgálati megbízhatóság ne változzék. Csúpn az esetben fogadható el a szilárdsági eredmények szabványos próbakocka méretre a jelenleg szokásos gyakorlat szerinti egyszerű szorzással való átszámítása.

d) Azonos összetételű betonok esetében a vizsgálati eredmények alapján meghatározott variációs koefficiens annál a próbakockaméretnél adja a legkisebb értéket, mely próbakockamérettel a legnagyobb nyomószilárdsági értéket nyertük.

Az a) és b) pontban közölt értékek természetesen csak a kísérletekben alkalmazott összetételű betonokra vonatkoznak. Más összetételű betonoknál a fenti értékeket külön kísérletekkel kell megállapítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- E. Besler*: Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken (Schweizer Archiv 1961. IV.)
Dr. Palotás L.: Építőanyagvizsgálati eredmények értékelése (Építőanyag 1960. III.)
Vincze: Statisztikai minőségellenőrzés.
Rényi: Matematikai statisztika.