

JAVASLATOK A BETONTECHNIKA SZABÁLYOZÁS-RENDSZERÉNEK JAVÍTÁSÁRA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A KAVICSBETONOKRA

CSUTOR JÁNOS*

[Beérkezett 1975. szeptember 30-án]

Azoknak az ellentmondásoknak a feloldása érdekében, amelyeket kimutathatunk akkor, ha a betonokat szabványos próbatestekkel minősítjük, a következő teendőkre van szükség. Ki kell alakítani a mérővibrátor konstrukcióját és ezt egységesen kezelhető műszerré kell fejleszteni. Ezután szabványosítani kell a mérővibrátort és tárgyalt tartozékait. A próbatestek készítésekor az eddig rendszeresen nem mért azokat a paramétereket is mérni kell, amelyek nélkül a frissen megkevert lazabeton feldolgozása korrekten nem szabályozható. Össze kell állítani azokat a táblázatokat, vagy nomogramokat — a betontervezésben eddig alkalmazott módszerekkel analóg módon — amelyek a próbatestek készítésekor fennállt, vagy az ezeken mért mérőszámoknak megfelelő viszonyokat a nagyobb valóságban is reprodukálhatóvá teszik. Meg kell változtatni a jelenleg érvényes szabványoknak azokat a részeit, amelyekből az előbbieik alapján az ellentmondások az elmélet és a gyakorlat között kiiktathatók. Össze kell foglalni azokat a (nagyon egyszerű) szabályokat, amelyek a vibrációtól eltérő más feldolgozási módok esetében is felhasználhatóvá teszik a mérővibrátoron készített próbatestek által szolgáltatott adatokat.

I. Bevezetés

Az elmúlt két évtized során a kutatások a betont, mint építőanyagot, egyre jobban ismertté és így egyre változatosabb formában felhasználhatóvá tették. A betonnak ezt a fejlődését joggal nevezhetjük ugrásszerűnek. Ezen nem változtat, hogy időközben sok új építőanyag és szerkezet is megjelent, és a beton néhány olyan területről, ahol eddig széleskörűen alkalmazták, kizszorulóban van. Ha a beton helyzetét az építőiparon belül objektíven mérlegeljük, akkor összefoglalóan a következőket mondhatjuk:

1.1 A beton felhasználási területe határozott körben stabilizálódik, miközben elmélete és gyakorlata fejlődést jelentő fázisokon megy át. Ezekről a stabilizálódó területekről valószínűleg a jövőben sem fogják más anyagok kiszorítani.

1.2 A stabilizálódó felhasználási terület miatt az elméletben és a gyakorlatban nyitott, s ezért ellentmondásokat szülő problémák megoldásának aktualitása nem csökkent.

* Dr. Csutor János, 1118—Budapest, Villányi út 65/A.

A következőkben a nyitott problémák közül a beton tömörítését és bedolgozását, egyszerűen: feldolgozását vizsgáljuk meg abból a szempontból, hogy ez a művelet milyen módon képvisel ellentmondást a beton- és vasbetontechnika elmélete és gyakorlata között. Noha vizsgálatunk a legelterjedtebb feldolgozási módra, a vibrálásra épül, igazolni fogjuk, hogy megállapításaink minden tömörítési, illetve feldolgozási módra általánosíthatók. Rámutatunk az ellentmondások feloldásának egy módjára, lehetőségére.

2. Az elmélettel megalapozott méretezés és a gyakorlat kapcsolata

A következőkben általában *vasbetont* mondunk, ha szerkezet tervezéséről és méretezéséről beszélünk. Ezen belül a *betont* a vasbeton olyan határesetének tekintjük, amelynél a tervezés és a méretezés egyes lépései elmaradnak. Ha tehát tetszőleges vasbetontárgyat kell készíteni előírt betonminőséggel és megadott terhelési viszonyokra, és ha feltételezzük, hogy ehhez minden számítási lépést kihagyások nélkül végrehajtunk, akkor a következő lépéssorrenddel állunk szemben:

2.1 Az előírt betonminőség igazolása

2.11 Ha az adalékfrakciók száma x_1 , a cement minőségi mérőszáma C , akkor az adalékfrakciók olyan $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$ súlyarány-sorozatát kell meghatározni, hogy ezek összegezésével a beton előírt B_{28} minőségi osztályának mérőszámát C_{\min} , tömör térfogategységre vonatkoztatott cementadagolással lehessen elérni.

2.12 A betonalkotók arányszámainak megfelelően összeállított keverékből x db próbatestet (az MSZ 4715 szerint: kockát) kell készíteni úgy, hogy $x \geq 3$ legyen.

2.13 A próbatesteket 28 napos korukban nyomóerővel addig kell terhelni, amíg a próbatest roncsolódik. Ha a roncsolást okozó erő P , és F a próbatest mértékadó nyomott felülete, akkor a két érték hányadosaként számított

$$\sigma_{bi} = \alpha \frac{P}{F} \quad (1)$$

feszültség a vizsgált keverékkel elérhető *próbatest-szilárdság egyedi értéke*. Az α együttható a próbatest geometriai méreteitől függ. Az $\alpha = 1$ érték a $20 \cdot 20 \cdot 20$ cm élhosszúságú próbakockára vonatkozik.

2.14 Az egyes próbatestek σ_{bi} adataiból meg kell határozni a

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \sigma_{bi}}{x} \quad (2)$$

számtani átlagot. (1) és (2) ismeretében a szórás

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\sigma_{bi} - \bar{\sigma}_b)^2}{x - 1}}. \quad (3)$$

Ezzel az adott keverékkel elérhető *mértékadó próbatest-szilárdság* az MSZ 4715—61 szerint

$$K_{28} = \sigma_b = 1,15 \left(\bar{\sigma}_b - \frac{3\sqrt{x}}{x - 1} S \right). \quad (4)$$

(4)-ben a (2) szerinti számtani átlag a próbatestek kis száma miatt módosul. Ha

$$K_{28} \geq B_{28},$$

akkor a keverék összetétele megfelel. Ellenkező esetben az alkotók arányszámain korrekciót kell végrehajtani. Az arányszámok és K_{28} között függvénykapcsolatot lehet felírni, amelynek alapján felépíthető a *betontervezésnek* nevezett számítás-sorozat.*

2.2 A tárgy teherbíró képességének igazolása

2.21 A vasbetontárgy funkciójának és terhelésének ismeretében meg kell határozni geometriai méreteit, ezeken belül a vasalását. E méretezés közben feltételezzük, hogy a tárgy megszilárdult betonja kellően tömör és nyomószilárdsága legalább B_{28} . E méretezés egyes lépéseit szabályozó szokványok és szabványelőírások az egyes országokban formálisan eltérők, de fizikai alapjaik azonosak. Ennek igazolására megemlítjük, hogy (többek között) ilyen közös fizikai alap: a beton E_b rugalmassági modulusát minden szabvány a K_{28} érték függvényeként fogja fel, a keverővíz mennyiségének növekedését a B_{28} értéket csökkentő hatásnak tekinti stb.

2.22 A teljesség érdekében meg kell említenünk, hogy a méretezés során a geometriai méretek egyszer *képletekből adódnak ki*, máskor viszont *felvett méretek* megfelelő voltát kell ellenőrizni képletek felhasználásával.

3. Ellentmondás a méretezési számítások és a betontechnikai gyakorlat között

Az előbbi teljes lépéssorrend a gyakorlatban viszonylag ritkán fordul elő, mivel megelőző tevékenységekből rendszerint sok olyan adat áll rendelkezésre, amely némely lépés elhagyását lehetővé teszi. Azonban sem ez, sem a gyakorlott betontechnikusok munkájára sokszor jellemző és számításokat

* Az újabb szabványok a 28 napos átlagos szilárdság helyett, annak minősítési követelményeként az ún. minősítési értéket (2,3%-os küszöbértéket) írják elő.

nem alkalmazó sikeres becslések (amelyek szintén kihagyásosak az előbbi értelemben) sem változtatnak azon, hogy a leírt teljes lépéssorrend az elméleti alapja a mai betontechnikai gyakorlatnak. Elméleti összefüggések célszerű egymásutánja gyakorlati tevékenység bázisául akkor szolgálhat, ha ellentmondásmentes. A 2. pontban leírt teljes lépéssorrend nem ilyen. A nyitott problémák egyike, hogy sem a próbatetek, sem a készítendő tárgy betonjának feldolgozására nincsenek egységesen elfogadott (vagy előírt) szabályok. Ezért a méretezési elv és a gyakorlat között ellentmondás mutatható ki. Ez még akkor is igaz, ha állításunkat nem csupán a vibrációs betonfeldolgozási módra vonatkoztatjuk, valamint ha problémánkat a legújabb vasbeton-méretezési szabvány előírásainak fényében vizsgáljuk [13].

3.1 A próbatetek készítése során fennálló ellentmondás

Mielőtt a vibrációs betontömörítés általánosan elterjedt volna, a próbatetek tömörítésére (függetlenül attól, hogy magát a tárgyat később milyen módszerrel tömörítették), a következő szabványelőírás alakult ki és érvényes (MSZ 4715): G kp súlyú döngölő szerszámmal h cm magasról q ütéssel kell a próbatest betonját tömöríteni. Így az összes tömörítési munka

$$L_t = G \cdot h \cdot q \text{ [cmkp]}. \quad (5)$$

Ez a munka jól definiált, tehát könnyen reprodukálható. Hibája, hogy eltérő betonokhoz ugyanazt a munkát rendeli, holott eltérő betonok tömörítési munkaigénye eltérő lehet. Mivel napjainkban a próbatetek (elönyszó kivétel-től eltekintve: mindig) laboratóriumi vibrátorasztalokon szokták készíteni, s ezek egyedenként eltérő gépek, az (5) által megszabott követelményt nem lehet teljesíteni. A próbateteket azért készítik vibrátorasztalokon, mert

- igen nagy mennyiségben szükségesek és ezt kézi munkával nem lehet győzni,
- azonos betonkeverékből egyszerűen több próbatest készíthető azonos gépi paraméterek mellett,
- egyszerűen készített több próbatest adatai alapján megbízhatóbb statisztikai átlagot lehet képezni.

Mivel a munkát bármilyen tömörítővibrátor esetében sem lehet könnyen és pontosan számítani, ezért nem könnyű megfogalmazni a reprodukálhatóság kritériumait sem.

Ha a laboratóriumi vibrátorasztalt a cél érdekében tett egyszerűsítések mellett egytömөгű rezgőrendszerként vizsgáljuk, akkor a rendszer mozgásbentartásához szükséges összes munkavégzés [3], [5] periódusonként:

$$L_{\delta} = C_0 A_0 \pi \sin \varepsilon \text{ (cmkp)} \quad (6)$$

alakban írható fel. Itt

$C_0(\text{kp})$ = az egész rezgőrendszert mozgásban tartó erő.

Ha a gerjesztést gyorsan forgó excentrikus tömeg tehetetlenségi ereje adja, akkor ez a centrifugális erő.

$A_0(\text{cm})$ = az útamplitúdó

$\varepsilon (-)$ = a gerjesztőerő és a rezgésút közötti fázisszög.

(6) sokkal összetettebb, mint (5), mert implicit módon egyidejűleg a rezgés-számtól is függ. Mivel elkerülhetetlen, hogy (6)-ot legalább két komponensre fel ne bontsuk, összetettebb volta ezt a felbontást is megnehezíti. A felbontás kényszere (5) alapján nyilvánvaló, mert míg (5) csak a beton tömörítésére fordított munka, addig (6) a rezgőrendszer passzív részeinek mozgásához szükséges munkát is magában foglalja. Vagyis

$$L_\delta = L_t + L_m, \quad (7)$$

ahol L_t a beton tényleges tömörítésére, L_m a rendszer mozgásban-tartására fordított munka. Ha a próbatetek készítéséhez a vibrátorasztalt szabványosítjuk, akkor (7)-ben L_m mindig közvetlenül ismert lehet. Ezáltal a reprodukálhatóság feltételeinek teljesítését számottevően leegyszerűsítjük. Látható tehát, hogy ismert és konstans L_m esetében L_t -t a legkülönbözőbb betonminőségekre is viszonylag egyszerűen meg lehet határozni és adott betonhoz hozzárendelni.

Fontos megjegyezni, hogy (akár szabványos vibrátorasztalról van szó, akár nem) ugyanannál a gépnél azonos súlyú aktív teher esetében L_m mindig konstans. Ezzel szemben L_t általában mindig változó, csak azonos összetételű, azonos súlyú frissbetonok esetében konstans. L_t hatására lényeges *állapotváltozás* jön létre: a lazabeton tömörre válik. Eltérő betonok belső ellenállása általában eltérő. Emiatt azonos tömörségi mérőszámhoz más-más munkavégzés tartozik. Ezért a próbatetek készítésekor L_t -t is meg kell állapítani. *Ez eddig — többek között — azért sem történt meg rendszerezett módon, mert a próbatetek készítéséhez használt vibrátorasztalok nem szabványosítottak, nem etalon-gépek.*

Ha (7)-et a teljesítmény és az idő szorzataként írjuk fel, akkor alakja a következő:

$$L_\delta = C_0 A_0 \pi \omega \sin \varepsilon \cdot t, \quad (8)$$

ahol

$\omega (\text{s}^{-1})$ = az excentrikus forgótömegekkel gerjesztett rezgések [szögsebessége. Más gerjesztési mód esetében a frekvencia, vagy azzal arányos szám.

$t (\text{s})$ = a próbatetek tömörítéséhez szükséges idő.

Ha a vibrátorasztal nem etalon-gép és L_m -et esetenként meg kell határozni, akkor (8)-ból L_t -t még hosszadalmasabb és ez okból nehezebb szeparálni.

Emiatt állt elő az a világszerte azonos helyzet, hogy a nem szabványos vibrátorasztalokon készített próbatestek szabványos vizsgálata alapján csak azt lehet eldönteni, hogy a keverékből a kívánt betonminőség előállítható-e, de a betontárgy tömörítésének szabályozásához kiindulási adatokat adni nem lehet.

Ez azt jelenti, hogy a tárgy készítésekor a próbatest tömörítésének fontos mozzanatai nem reprodukálhatók. Ez még inkább igaz akkor, ha a próbatest vasalt betontárgyhoz tartozik vagy a tárgyat a vibrálástól eltérő más módon, illetve a vibrátorasztaltól eltérő más eszközzel tömörítik. Minden bizonnyal ez az oka annak is, hogy a nagy betontechnikai szakirodalomban a betontervezés zárómondata szinte kivétel nélkül mindig feltételt szabó: „... ha egyebekben a keverék megfelelően tömörített.” Ha tehát „nem megfelelően tömörített”, akkor sem szilárdsága, sem rugalmassági modulusa, sem egyéb fontos tulajdonságai sem lehetnek azonosak a méretezéskor feltételezettekkel, esetleg számítottakkal. Hogy azonban a „megfelelő” tömörítés mi lenne, erre a kérdésre a különféle szabványokból eddig csak egymástól eltérő válaszokat lehetett kapni.

Ez a betontechnika első ellentmondása.

3.2. A vasbetontárgy készítésének gyakorlata és a szilárdsági összefüggések közötti ellentmondás

A vasbeton szilárdságtana ugyan eleve abból indul ki, hogy a beton nem homogén és izotróp e fogalmak klasszikus értelmében, a méretezéshez szükséges összefüggéseket mégis úgy vezeti le és használja, hogy a homogén és izotróp állapotokkal analóg állapotokat tételez fel. Ezt még a legújabb [13] szemlélet is átveszi. Erdedeti értelemben a beton *nem homogén*, mivel az adalékanyag és a megszilárdult kötőanyag (mint struktúra-komponens) eltérő fizikai tulajdonságú. Tárgyalt problémánk szempontjából viszont a szilárd beton homogén, ha tetszőleges koordinátákkal meghatározott térfogategységében az alkotóelemek mennyiségének aránya statisztikusan állandó. A mérőszámok statisztikus érvényén mindenütt azt értjük, hogy azok csak a szórással együtt korrektek, függetlenül attól, hogy a szórást feltüntetjük-e vagy sem.

A vasbetontárgyra nézve a szilárdsági mérőszámok *előre* feltételezik mind a K_{28} érték fennállását, mind ennek előfeltételeként a megfelelő tömörséget és homogenitást. A tárgyat viszont *utólag* készítjük komponens anyagok rendszeréből úgy, hogy a készítés során egy, a későbbi tulajdonságokat determináló művelet: a tömörítés (és a bedolgozás) nem szabályozott. Emiatt hiánytalan logikai érveléssel nem lehet azt utólag bizonyítani, hogy a tárgynak tetszőleges koordinátákkal meghatározott helyén fennállnak-e a számítás alkalmával feltételezett tulajdonságai.

Ezt tekinthetjük a mai betontechnika második ellentmondásának.

4. Az ellentmondás feloldásának módja

4.1. A próbatest szerepe a betontechnikában és a fajlagos tömörítési munka, mint anyagállandó

A próbatestnek itt is, mint minden olyan tudomány területén, amely a *nagyobb* méretű valóságot *kisebb* mintán tanulmányozza (aerodinamika, hidrodinamika) azt kell bizonyítani, hogy a mintán mért számokkal jellemzett tulajdonságok a nagyobb tárgyon (produktumon) is azonosak. A jelenlegi szabványelőírások értelmében a próbatestekkel két tényt kellene tudnunk igazolni:

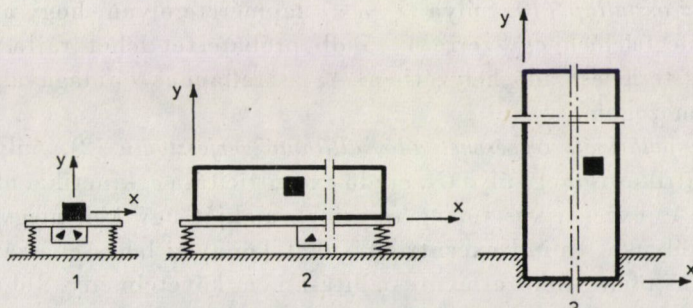
— azt, hogy a tervezett összetétel mellett *megfelelően* tömör beton állítható elő. Ezt az igazolást akadályozza a 3.1 alatt tárgyalt ellentmondás.

— Azt, hogy a megfelelő tömörség következtében a (2) szerinti nyomószilárdság az előírthoz képest elfogadható.

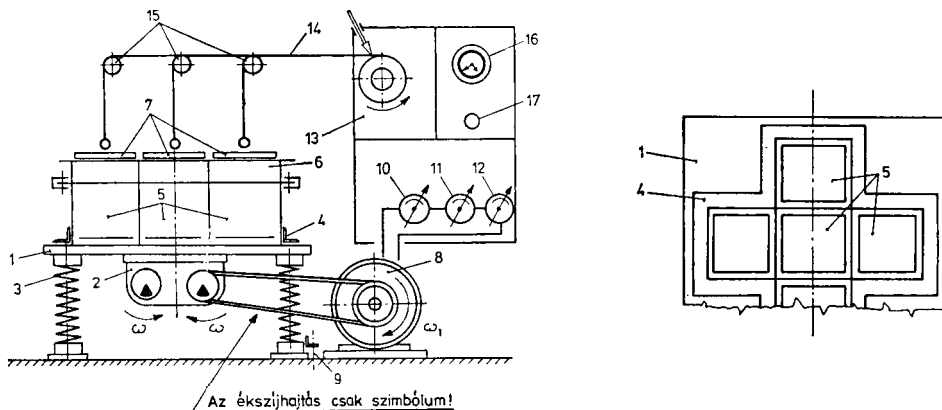
Azt a lényeges harmadik tényt, hogy mindez a nagyobb tárgy tetszőleges helyén is igaz, a 3.2 alatt tárgyalt ellentmondás miatt nem lehet a produktum elroncsolása nélkül igazolni. Ezt érzékelteti az 1. ábra. A próbatest tömörítéséhez képest (1. eset) a 2. esetben a tömörítőeszköz ugyan még vibrátorasztal, de paraméterei jelentékenyen eltérőek. A 3. esetben már a tömörítőeszköz is más kategóriájú, még inkább eltérő paraméterekkel.

A szerző bizonyította, hogy azonos betonokat azonos tömörségi mérőszámúvá azonos fajlagos munkamennyiséggel lehet és kell tömöríteni [2, 4]. Az ellentmondások feloldásának alapja tehát az, hogy ha mind a próbatest, mind a tárgy betonanyaga azonos, akkor nincsen fizikai ok, amely a fajlagos tömörítési munka megváltozását vonná maga után, illetve kényszerítené ki [15, 18, 22]. Azonos betonok esetében a fajlagos tömörítési munka független a tárgy geometriai méreteitől, a tárgy összetett vagy egyszerű alakjától, illetve a vasalás struktúrájától [2, 8].

A betontárgy alakja és méretei, illetve a vasalás struktúrája a bedolgozással szemben jelentenek változó ellenállásokat, nem a tömörődéssel szemben.



1. ábra. A próbatesten mért tulajdonságok és tetszőleges betontárgy tulajdonságainak ellentmondásához: 1 próbatest — 2 tömegcikk — 3 monolitikus betontárgy



2. ábra. Szabványosítható mérővibrátor; 1. asztallap, 2. polarizált rezgéseket adó gerjesztőmű, 3. rugók, 4. sablontámasz és rögzítőmű, 5. próbatest sablonok, 6. feltétszokrény, 7. süllyedés érzékelő, 8. hajtómotor hajtóművel és rezgésszámváltó, 9. állítócsavar, 10. ampermérő, 11. voltmérő, 12. cos φ -mérő, 13. írószerkezet, 14. írószerkezet közlőműje, 15. a közlőmű tartószerkezete, 16. másodperc-stopperóra, 17. kapcsológomb

Emiatt a fajlagos tömörítési munka anyagállandó, amely egyedül a beton összetételétől függ, a veszteségek nélkül. Itt veszteségnek számít minden más, nem közvetlenül a beton tömörítésére fordított munka. Éppen e veszteségek állandó értéke érdekében van szükség etalon vibrátorasztalra.

4.2. A szabványos mérővibrátor jellemzői

Témakörünkön belül laboratóriumi vibrátorasztalnak neveztük (jobb meghatározás híján) azt a tömörítőgépet, amellyel próbatesteket készítünk és a frissbeton minden fontos tulajdonságát mérjük. Javasoljuk, hogy ezt a gépet nevezzük *mérővibrátornak*. Mivel komplex műszer, mint ilyenek szabványosítottaknak kell lennie. A 2. ábra szerint a következő szerkezeti részekből áll:

4.21 *Az asztallap (1)*. Súlya G_a , $a \cdot a$ lapmérete olyan, hogy a vizsgálat igényeinek megfelelően egyszerre 1—5 db próbatestet lehet rajta készíteni, szimmetrikus terhelést adó helyzetben. Az asztallapnak önmagával párhuzamosan kell mozognia.

4.22 *A polarizált rezgéseket adó, állítható gerjesztőmű (2)*. Súlya G_g . Az osztott excentrikus tömeg súlya G_0 , eredő excentricitása e , kinetikai nyomatéka $M = G_0 \cdot e$. Az excentrikus tömeg részeinek alakját úgy kell megválasztani, hogy mind súlyukat, mind excentricitásukat könnyen lehessen számítani is. Az excentrikus tömeg fokozatmentes állítása nem követelmény. Jól elhatárolt 15°-os állítási lehetőség a gyakorlat igényeit kielégíti. Követelmény viszont a könnyen végrehajtható állítás.

Az ipari gyakorlattal igazolható, hogy a mérővibrátoron elegendő három rezgésszám: $n = 3-4,5-6000/\text{min}$. Ezek közé eső rezgésszámoknak ma nincsen gyakorlati jelentőségük. Ha szükség lenne $6000/\text{min}$ rezgésszámmal nagyobbra, akkor a mérővibrátornak több típusát kell szabványosítani, esetleg az építőszekrény elvén.

A hajtómotor változatlan teljesítménye mellett az $n = 3000/\text{min}$ rezgésszámhoz tartozhat a legnagyobb amplitúdó, amelynek a mérővibrátoron fellelhető legnagyobb értéke $A_0 = 2 \cdot 10^{-1}$ cm értéknél nagyobb nem kell legyen. Ezzel a választással az excentrikus gerjesztőtömeg G_0 súlya meghatározott.

4.23 *Négy, párhuzamosan kapcsolt támasztórugó* vagy ezek kapcsolt kombinációja (3). Ezeknek számottevő tömörítéstechnikai szerepük nincsen, mivel bizonyítható, hogy a mérővibrátor mint egytömegűnek tekinthető rezgőrendszer, jó közelítéssel az eredő rugóállandótól függetlenül mozog [2, 3]. A rezgőrendszer által megemésztett energia számszerű ellenőrzése szempontjából azonban a rugóknak mégis jól definiáltaknak kell lenniük [3]. Követelmény, hogy az asztallap a teljes terhelés alatt nem süllyedhet le nyugalmi középpozíciójában $f = 0,3-0,4$ cm nagyságrendnél jobban. Ebből és a teljes terhelésből a rugó méretei meghatározhatók.

4.24—4.25—4.26 *A próbatestsablonok (5), az ezeket támasztó és esetlegesen rögzítő szerkezetek (4) és a feltétszekrények (6)*. A sablonok vagy szabadon fekszenek az (1) asztallapon, vagy mereven hozzákapcsolhatók. Az első esetben a (4) támaszok a sablonokat az asztallappal azonos mozgásra kényszerítik, merev mechanikai kapcsolat révén. A (4) támaszok súlya G_r . Megjegyezzük, hogy az asztallaphoz mereven kapcsolt sablon — mint üzemi eset — világszerte nem tudott teret hódítani és térhódításának jelei sem láthatók. A sablon merev rögzítése a vibrátorasztalhoz egyre inkább csak az elméleti teljesség miatt és érdekében szerepel.

A frissen megkevert beton állapotai közötti különbségnek fontos mérőszáma a β tömörödési tényező [2, 4, 8]: eszerint a lazabeton térfogata β -szor nagyobb a tömörénél. A (6) feltétszekrények azt a célt szolgálják, hogy a sablonokba a próbatest H_t magasságánál β -szor magasabb anyagmennyiséget egyszerre lehessen betölteni és utántöltésre ne legyen szükség. Ez β ismeretét feltételezi, meghatározását az 5.1 pontban részletezzük. A feltétszekrények belső felületén célszerűen elhelyezett cm beosztás van. Noha (1), (2), (4), (5) és (6) a tömörítés folyamatában szorosan összetartozó elemek, a G_0 összes gerjesztett súly számértékében komponensként mindig csak azok szerepelnek közülük, amelyek ténylegesen elemei a gerjesztett rezgőrendszernek. Hogy adott mérések során melyek ezek, azt esetenként kell eldönteni.

4.27—4.28 *A hajtómotor és a hajtómű*. A hajtómotor teljesítményét az [5]-ben írt módon határozhatjuk meg és így a mérővibrátorhoz szabványos hajtómotort választhatunk. A 4.22-ben javasolt három rezgésszám megvaló-

sítása érdekében célszerű vagy a sebességváltó elvén, vagy más korszerű elven (pl. tirisztoros hajtás) működő hajtóművet iktatni a motor és az asztal közé. Az energiaátvitelnek olyannak kell lennie, hogy a motor fordulatszámát legfeljebb $\pm 1\%$ -os ingadozással származtassa át az asztalra.

Az a törekvés, hogy az előzőekben vázolt feltételek teljesüljenek, már korábban választ kért arra a kérdésre, hogy ugyanazon a vibrátorasztalon a fordulatszám-változtatás milyen következményekkel jár. Erről a következőket mondhatjuk:

Ha kikötjük, hogy a vibrátorasztal mindig azonos gép (lényeges paramétereiben változatlan), akkor ez azt jelenti, hogy $G_\delta = \text{konstans}$, tehát konstans a bemenő összteljesítmény is, a már stacionárius üzemállapotban, ismert statisztikai ingadozásokkal. Az összteljesítmény konstans voltából következik, hogy (8) alapján

$$N = \frac{C_0 A_0 \omega \sin \varepsilon}{2} = \text{konstans} . \quad (9)$$

Helyettesítsük ebbe az összefüggésbe az $M = G_0 \cdot e$ relációnak megfelelő kinetikai nyomatékot, akkor áll, hogy

$$C_0 = \frac{M}{g} \omega^2 \quad \text{és} \quad A_0 = \frac{M}{G_\delta} .$$

Emiatt

$$N = \frac{M^2 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}{2gG_\delta} = \text{konstans} . \quad (10)$$

Ha ugyanazt a vibrátorasztalt

$$\omega_i = x \cdot \omega \quad (11)$$

szögsebességgel úgy gerjesztjük, hogy (9) érvénye fennálljon, és $x \cong 1$, akkor (10) a következő alakú lesz:

$$N = \frac{M_i^2 \cdot x^3 \cdot \omega^3 \sin \varepsilon}{2gG_\delta} = \text{konstans} , \quad (12)$$

ahol M_i a módosított kinetikai nyomaték. Innen

$$M_i = \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} . \quad (13)$$

Ha a gerjesztés olyan, hogy egy-egy tengelycsonkon két, azonos súlyúnak és excentricitásúnak tekinthető, gerjesztőtömeg van, vagyis, ha

$$G_{01} = G_{02} = \dots = G_{02n} \quad \text{és} \quad e_1 = e_2 = \dots = e_{2n} = e_{\max} = e ,$$

akkor a kinetikai nyomaték

$$M = e \sum_{i=1}^{i=2n} G_{0j} . \quad (13)$$

Ha a szabályozóállítás két, egymáshoz tartozó gerjesztő résztömegnek ψ szög-gel való elforgatása révén lehetséges, akkor az excentricitás változott értéke

$$e_i = e \cdot \cos \psi/2 .$$

Mivel

$$\sum_{i=1}^{i=2n} G_{0j} = G_0 = \text{konstans} , \quad (15)$$

azért (13) más alakja

$$G_0 \cdot e \cdot \cos \psi/2 = \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} ,$$

ahonnan az elforgatás szükséges szöge

$$\cos \psi/2 = \frac{1}{G_0 \cdot e} \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} . \quad (16)$$

4.29—4.10—4.21 *Amper-, volt- és cos φ mérőműszerek* célszerűbbek, mint egy db Wattmérő, mert lehetővé teszik a betáplált energia komponenseinek a mérését is. Ebbe a műszercsoportba kell tartozzék a rezgésszám-számláló és az amplitúdó-mérő műszer is, (9), (10), (11).

4.212—4.213—4.214 *Az elegyengetett lazabeton felszínének süllyedését regisztráló műszer.* (14) az írószerkezet, (13) a támasztó- és közlőszerv, (12) a közvetlen érzékelőelem.

4.215—4.216 *A beépített stopperóra* (15), *valamint a* (16) *kapcsológomb(ok).* Ezekről részletesen szólni felesleges, de velük összefüggésben meg kell említenünk, hogy a mérővibrátor valamennyi, a 4.21 alatt tárgyalt szerkezeti része egyesíthető egységes, a laboratóriumi munkát egyszerűsítő és egzakttá tevő gépkonstrukcióba.

Az előzőekben részletesen leírt *mérővibrátor* szabványos és mindig ismertnek feltételezhető gépi paraméterei lehetővé teszik, hogy a betáplált energiát a próbatestek készítése alkalmával két, illetve három részre felbontsuk, elfogadható megbízhatósággal és reprodukálható módon. Ez lehetővé teszi, hogy rendszerezetten mérhessük a betonnak néhány olyan paraméterét is (β , γ), amelyeket eddig rendszerezetten nem mértek, amelyek nélkül azonban a beton feldolgozása, ill. tömörítése korrekten nem tárgyalható. A szabványos mérővibrátor — bizonyos értelemben — az eddigi szabványos döngőtő-, ill. csömöszőlőszerszám helyébe lép, azzal a lényeges különbséggel, hogy az eltérő beto-

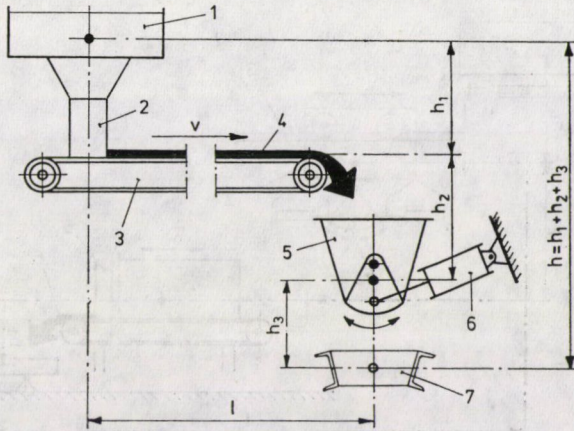
nok által megkövetelt eltérő feldolgozási munkát szabályozott módon teszi a betonnal közölhetővé. Mindezzel alapja annak is, hogy a szabványokban kimutatható ellentmondásokat kiküszöböljük.

5. Mérések a szabványos mérővibrátoron

Amikor a mérővibrátor a 2. pontban leírt teljes méretezési lépéssorrendbe belép, feltételezzük, hogy a megelőző lépések eredményeként rendelkezésünkre álló összetételi arányszámok általánosan elfogadott és bevált betontervezési eljárás eredményei. Ezért itt ki kell emelnünk, hogy a mérővibrátorral végrehajtott mérések (és az ezekre épülő további következtetések) szempontjából *közömbös*, hogy az összetételi arányszámokat az előre megadott és követelménynek számító B_{28} minőségi osztályhoz *milyen szilárdság-előrebecslő képlet* vagy erre épülő betontervezési elmélet alapján határozták meg. A betonalkotók (a keverés előtt) mindig mint konkrét arányszámok jelennek meg. Ezeknek a tömörítés (= feldolgozás) szempontjából vett függetlenségét bizonyítja az is, hogy minden betonnak van laza állapota, tömörödési tényezője, legkisebb fajlagos térfogata és ehhez hozzárendelhető legnagyobb K_{28} szilárdsága stb.

5.1. A β tömörödési tényező és mérése általában

A β tömörödési tényező definíciója kiköti [2], hogy a laza betontérfogatot a keverőgépben kell mérni akkor, amikor a keverés révén a betonalkotók a 3.2 pontban definiált homogenitású frissbetonná álltak össze. Ez a tényező kapcsolja ugyanis egybe a frissbeton állapotváltozásának kezdetét és végét. A gyakorlati esetek túlnyomó többségében azonban a frissen megkevert beton addig, amíg a keverőgépből a sablon- vagy zsalutérbe jut, állapotváltozásokon megy keresztül [2, 4, 7, 8]. Ezek következtében a sablon- vagy zsalutérben mérhető tömörödési tényező a keverőgépben mérthez képest vagy *növekszik* (= a lazabeton tovább fellazul), vagy *csökken* (= a lazabeton némileg tömörödik), vagy *változatlan marad*. Voltak és vannak olyan vélemények, amelyek szerint az állapotváltozásnak e lehetőségei miatt minden, a β -ra épített számolás pontatlan, különösen, ha megfontoljuk, hogy a közönséges kavicsbetonoknál felső határértéke 1,5 körül van és így 0,5-nak, mint mérőszámi intervallumnak a betonok összes kategóriáját fel kell ölelnie. A β értékingadozásából eredtethető bizonytalanság azonban semmiképpen sem akkora, hogy e mérőszámot elvessük. A tömörödési tényező ugyanis valóságos állapotváltozást tükröz, illetve mér. Nem egy fizikai jelenséget ismerünk, amelynek alakulásában kis intervallumban mozgó számérték jelentős szerepet játszik (pl. a fáziszög az elektromosságban vagy a szlip az aszinkron elektromotorok műkö-

3. ábra. β növekedhet és változatlan maradhat

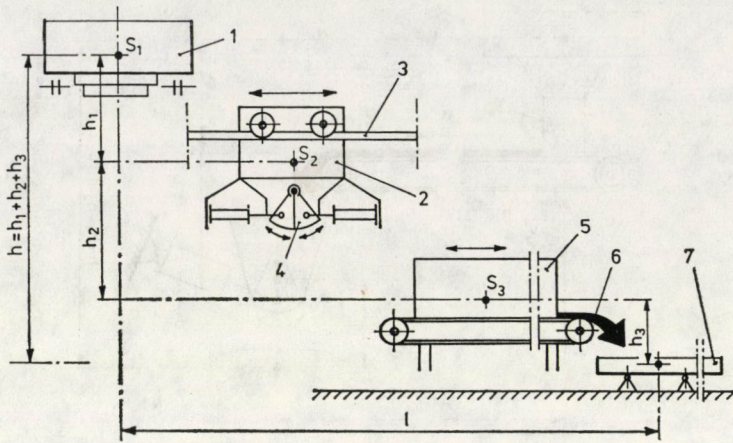
dési elvében). Ezeket a mennyiségeket nem lehet a korrekt tárgyalásból vagy az erre épülő szabályozásból kis értéktartományuk miatt kiiktatni. A β tömörödési tényező esetében is sokkal inkább arra kell törekedni, hogy az érték-ingadozást elfogadható mértékűre korlátozzuk és β -t üzemszabályozási célokra alkalmassá tegyük.

A [2]-ben kifejtett elmélet bírálói között voltak, akik hiányolták, hogy nincsen egyértelmű utalás benne arra: hogyan kell és lehet a keverőgépben β -t mérni. Nem igényel különösebb bizonyítást, hogy a keverőgép dobjának az a szabad térfogata (a keverőmechanizmusok térfogata nélkül), amelyet ismert mennyiségű komponensekből kevert lazabeton foglal el, még üzemi körülmények között is egyszerűen mérhető. A keverőgép tényleges befogadóképességének megfelelő laza adagot ismert térfogatú sablon(ok)ba bedolgozva a laza és a tömör állapot hányadosa számítható. A lazabeton és ezzel β változására, illetve e változásnak mérőszámmal való jellemzésére vizsgáljuk meg két, gyakorlatilag lehetséges és következtetéseink szempontjából általánosítható esetét.

5.11 *A lazabeton tovább lazul vagy állapota változatlan marad*, 3. ábra. Az (1) keverőgépből a lazabeton a (2) zárszerkezettel ellátott garaton keresztül a (3) vízszintes szállítószalagra jut, amelynek hevedere v sebességgel halad. A (3) szállítószalagon kialakuló (4) betonréteg a (6) zárszerkezetet hordozó (5) adagolótartályba, majd innen a (7) sablonba jut. Jelentse h_1 , h_2 és h_3 az egyes betontérfogatok súlypontjainak távolságát, akkor az állapotváltozás során β -t csökkentő teljesítmény, ha a mozgatótt betonsúly G_b :

$$N_1 = G_b(v_1 + v_2 + v_3). \quad (9)$$

Itt rendre $v_1 = \sqrt{2gh_1}, \dots$

4. ábra. β a sablonig csak csökken

A β -t növelő teljesítmény pedig

$$N_2 = G_b \cdot v. \quad (10)$$

A kezdő és végállapot szempontjából az állapotváltozás akkor indifferens, ha

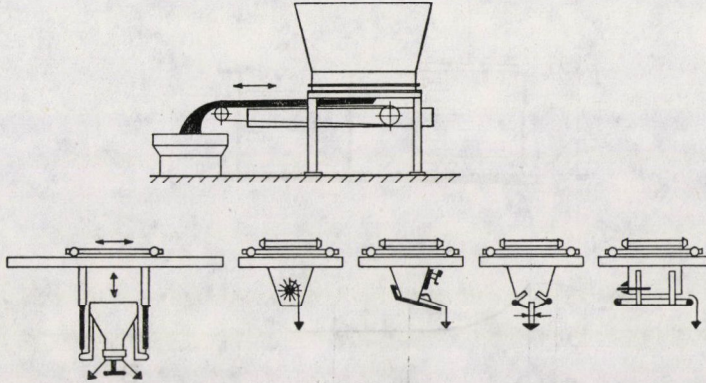
$$N_1 = N_2.$$

A számszerű értékeket az is befolyásolja, hogy a zárszerkezetek milyen sebességgel mekkora átömlő-keresztmetszeteket tesznek szabaddá. Itt azonban nem célunk a gépészeti részleteket ilyen mélységig elemezni, csupán utalunk erre a tényezőre.

5.12 *A lazabeton némileg tömörödik*, 4. ábra. A keverőgéptől a sablonig a beton útja lehet olyan, hogy a keverőgépben fennállt és mért állapothoz képest csak tömörödéstről beszélhetünk. A beton az (1) keverőgépből a (3) sín-pályán mozgó (2) szállítótartályba és innen a (6) sablonba hullik. A keverőgéptől a sablonig a betont tömörítő teljesítmény ez esetben is (9), de l viszonylag nagy az 5.11 alatt tárgyalt esethez képest. Az adagolótartály zárszerkezetének konstrukciója β -t rendszerint már nem befolyásolja mivel h_3 relatíve kicsi.

Noha gépészeti részhatásokat most sem elemeztünk, kétségtelen, hogy a keverőgépben egyszer megbízhatóan mért β -nak a sablonig lezajló változásaira minden konkrét esetben megbízhatóan következtethetünk. Ezt az állításunkat az 5. ábrán látható további, a gyakorlatból vett adagolási módok szimbólumaival is igazoljuk. Valamennyi feltüntetett adagolási módot visszavezethetjük az 5.11 és 5.12 alatt tárgyalt esetekre.

A problémakörnek ezt a részét azért kellett részletesen vizsgálnunk, mert a próbatetek készítése során (kivételem nélkül mindig, tehát a mérővibrá-



5. ábra. Lazabetont adagoló berendezések szimbóluma

toron is) a frissbetont kézi lapáttal (kanállal) kell a sablonba berakni. Eközben — lehetőség szerint — meg kell őrizni azt a lazabeton állapotot, amely a keverőgépben eredetileg fennállt. A sablontöltésnek erre az esetére mérőszámokkal mérhető módszert az MSZ 4715 szabvány nem ad, csupán hangsúlyozza, hogy az adagolást *óvatosan* kell végrehajtani. Kétségtelen, hogy kellő óvatosság mellett a próbatestsablont meg lehet úgy tölteni, hogy ez a lazabeton fennálló állapotán érdemben nem változtat.

S ha esetenként azt is ellenőrizzük, hogy a lazabeton állapota a mérővibrátor használatakor hogyan változott a keverőgéptől a sablonig, akkor láthatjuk, hogy β nem rosszabb elméleti eszköz, mint sok betontechnikai szemipirikus függvénykapcsolat vagy szilárdság-előrebecslő képlet.

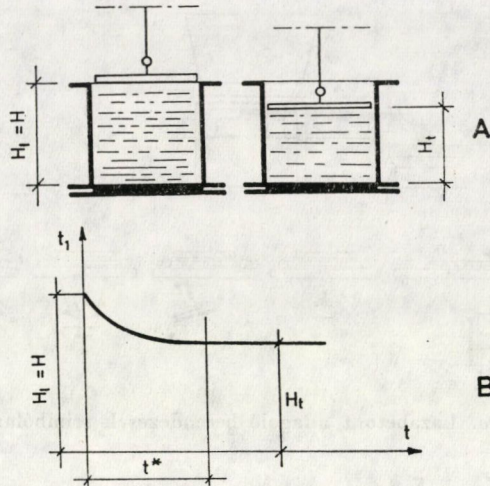
5.2. A β mérése a mérővibrátoron

A β mérőszámának megállapításához megszilárdult, kész próbatestekre nincsen szükség, ezért a mérés kevés betont igényel. A mérés (a 2. ábra jelöléseit használva) a következőképpen történik:

A (6) feltétszokrányekre nincsen szükség. A sablonokat megtöltjük lazabetonnal, tetejüket acélvonalzóval lehúzzuk. Az így elegyengetett betonfelületre rátesszük a regisztrálóműszer (12) érzékelőlapjait és a (16) indítógombbal indítjuk a mérővibrátort. A 6. ábra a kezdeti és a végállapotot, valamint a regisztrátum jellegét mutatja.

5.21 A β tömörödési tényező (6.A ábra). Ha a próbatest szabványos magassága H , akkor $H_i = H =$ konstans és az egyszerre mért x számú H_{ti} adatból

$$\beta = \frac{H \sum_{i=1}^{i=x} \frac{1}{H_{ti}}}{x} \quad (11)$$

6. ábra. β méréséhez

5.22 *A mérhető térfogatváltozáshoz tartozó t^+ idő* (6.B ábra). A bekövetkező állapotváltozásról felvett regisztrátum nagyon fontos mellékeredményként szolgáltatja a t^+ időt, amely a mérhető térfogatváltozás időtartama. Ehhez még nem szükségszerűen tartozik a maximális betonszilárdság, de

a) t^+ -on túl tetszőleges ideig tartó tömörítéssel sem lehet a frissbeton térfogatát tovább csökkenteni,

b) azonos betonok és azonos tömörítési teljesítmények esetében statisztikusan konstans anyagjellemző.

A mért x számú t_i^+ adatból

$$t^+ = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} t_i}{x} \quad (12)$$

A $h = h(t)$ függvény tételes ismeretére nincsen szükség [8], csak a kezdeti és a végállapot ismerete lényeges.

5.3 p_d dinamikai nyomás meghatározása

A p_d dinamikai nyomás a beton tömörítéséhez szükséges fajlagos munka, amely a beton összetétele által determinált anyagjellemző. A tömörség növekedése arányos a lazabetonba táplált munkával, K_{28} pedig a tömörséggel arányosan növekszik. A tömörségnek van túl nem léphető felső határa, amelyhez K_{28} tartozik. A tömörség egyidejűleg függ az összetételtől és a tömörítési munka mennyiségétől, K_{28} pedig az összetételtől és a tömörségtől. A mérővibrátoron tömörített próbatestek tömörsége és ezzel szilárdsága a tömörítési

idő függvénye. Mivel K_{28} adott összetétellel elérhető maximum, eléréséhez konkrét időtartam, tehát konkrétan meghatározott munka kell. Az állapotváltásnak éppen K_{28} -at adó időpontját *csak fokozatos közelítéssel* lehet meghatározni. Ha K_{28} -at t ideig tartó tömörítéssel lehet elérni (K_{28} és t kölcsönösen egymáshoz rendelt), akkor minden $t_q > t$ ideig tartó tömörítés felesleges és káros [2]. K_{28} ugyanis az előbbieik értelmében olyan térbeli struktúra eredménye, amely $t_q > t$ idő alatt *csak* úgy változhat, hogy *nem nőhet*. Ha tehát

$$(t^+ = t_1) < t_2 < \dots t_j \dots < t < \dots t_q \dots$$

időtartamokkal próbatesteket készítünk a mérővibrátoron, akkor

$$\bar{\sigma}_{bj} = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \bar{\sigma}_{bj}(t)}{x} \quad (13)$$

a t_j -hez tartozó x db próbatest átlagszilárdsága. Az adott keverékkel a legrövidebb idő alatt (= a legkevesebb munkával) elérhető maximális szilárdság

$$\sigma_b = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \sigma_b(t)}{x}, \quad (14)$$

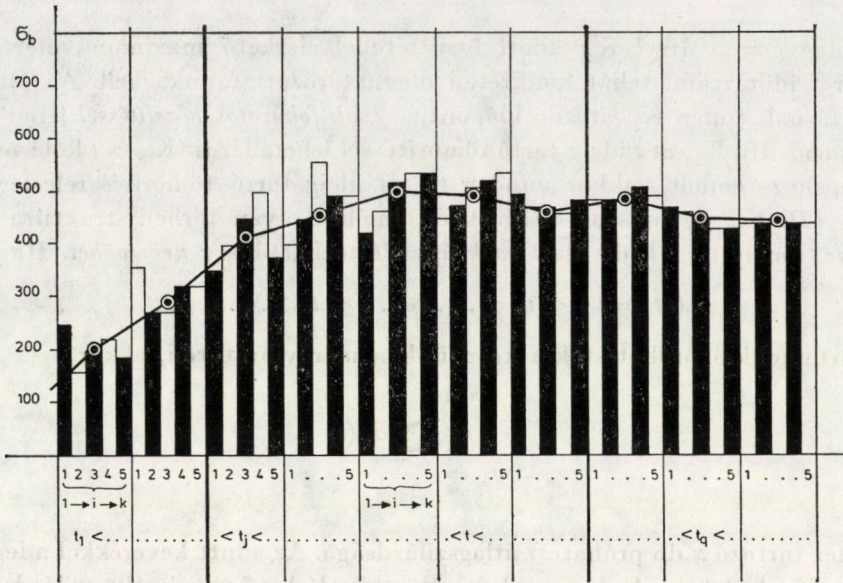
s ez azonos betonokra nézve anyagjellemző.

5.31 A 7. ábrán feltüntetett eset a (13) és (14) szerinti mérés eredményének a jellegképe. Hogy a jellegkép valóságos viszonyokat tükröz, azt [15]-tel lehet bizonyítani. Feltételek: az adalékanyag maximális szemnagysága, a cementadagolás és a vízcementtényező konstans. Egyidejűleg v/c az az optimum, amely (az arányszámokat adó számítás eredményeként) az adott cementadagolás és a szemszerkezet mellett a lehetséges $\sigma_{b \max} = K_{28}$ értéket adja. A t -hez tartozó x db próbatest egyedi nyomószilárdsága alapján K_{28} mértékadó értéke (4) szerint számítható. Ha K_{28} -at pontosabb szórásértékkel kellene meghatározni, az x darabszámot növelni lehet úgy, hogy a kiszűrt t -vel a próbatestek készítését megismételjük.

5.32 Ha a mérés volumenét növeljük, akkor kiszűrhetjük az optimális v/c értéket is oly módon, hogy egy minimumot jelentő v/c értékből kiindulva ezt a maximumig növeljük, miközben természetesen a többi paraméter konstans. A minimum és a maximum itt a tömöríthetőség alsó és felső határát jelenti [2, 14].

5.33 Hogy t kiszűrése hány (egyszerre készített) próbatest-csoportot igényel, vagyis milyen nagy a mérés lépcsőit és ezzel a kapott eredmények megbízhatóságát befolyásoló

$$t_j - t_{j-1}$$



7. ábra. $\sigma_b = k_{25}$ és t egymáshozrendelése $t_q > 1$ ideig az oldott keveréket felesleges tömöríteni

időköz, azt esetenként kell eldönteni. Természetes, hogy a próbatestek darabszámát igyekezzünk a minimumra korlátozni, ez a törekvés azonban nem mehet a megbízhatóság rovására. Ha pl. a vizsgált próbatest-sorozat *utolsó* tagja szolgáltatja az addig mért legnagyobb szilárdságot, akkor a sortozatot folytatni kell, mert másképpen nem lehet eldönteni, hogy ez a maximum az abszolút maximum-e. A sortozatot tehát úgy kell készíteni, hogy t környezete a 7. ábra szerinti függvénynek mind az emelkedő, mind a nem változó (esetleg csökkenő) szakaszán vizsgálható legyen.

5.34 Ha pl. a próbatestek sablonjai szabadon felfekszenek a vibrátorasztalon, akkor erre az esetre a dinamikai nyomás képlete [2, 8, 14]

$$p_d = \frac{\gamma v_0 t}{\beta - 1} \quad (15)$$

Ha mérővibrátor szabványos, v_0 mint gépi paraméter mértékadó értéke számítható, mivel v_0 -t a teljesített munkának a géphez kötött komponenseként foghatjuk fel [2, 3, 15]. A többi paraméter — amint megmutattuk — megbízhatóan mérhető. Emiatt p_d is megbízható alappá válik *tetszőleges* betontárgy *tetszőleges* eszközzel végzett tömörítéséhez (tágabban: *tetszőleges* betontárgy betonjának feldolgozásához), más szóval: e folyamat során a próbatest készítésekor fennállt viszonyok reprodukálásához.

Feltételezve ugyanis, hogy p_d , β és γ adott betonra nézve ismert, a mindenkor üzem mód dinamikai nyomásegyenletéből szeparálható a

$$v_0 t = v_0 t(p_d, \beta, \gamma) \quad (16)$$

szorzat, amely az az úthossz-összeg, amelyiken a feldolgozott betonmennyiség a feldolgozás során mozgott.

(16)-ból kitűnik, hogy a vibrációs betontömörítés során a v_0 sebesség-amplitúdó (mint a gépi paramétereknek ebben a fizikai mennyiségben szerepet játszó reprezentánsa) és a t idő azonos hatások kiváltása során kölcsönös függőkapcsolatban van: az egyik növekedése a másik szükségszerű csökkenésével jár és viszont. A betontechnikán belül az ilyen jellegű összefüggés (16) bal oldalán *önkéntes választást tesz lehetővé*, kikötve, hogy a szorzattényezőknek a gyakorlatilag reális szélső határokon belül kell maradniuk. A szabad értékválasztást ez tudományosan is megalapozottá teszi.

Ha (16)-ban v_0 -t láncszerűen helyettesítjük az egyéb rezgésparaméterekkel, akkor a következő egyenletláncba jutunk:

$$v_0 t = \underset{1.}{A_0} \underset{2.}{\omega} t = \frac{M}{\underset{3.}{G_\delta}} \underset{4.}{\omega} t = \frac{G_0 \cdot e}{\underset{5.}{G_\delta}} \underset{6.}{\omega} t = \frac{C_0 \cdot g}{\underset{6.}{G_\delta \omega}} \cdot t = \left[\frac{P_d(\beta - 1)}{\gamma} = \text{konstans} \right] \quad (17)$$

Ha t -t és ω -t célszerűen megválasztjuk, akkor a tömörítőeszköz paramétereit kiszámíthatjuk. Ha (17) hatodik tagjában esetenként az öt alapvető vibrációs üzemmód közül [2] a megfelelőből fejezzük ki a $v_0 t$ -nek megfelelő számot, akkor a tömörítőeszköz tervezéséhez határozhatjuk meg a szükséges paramétereket [2, 8, 15].

A tárgyalt energetikai elmélet kialakulása előtt a vibrációs betontömörítés szabályozását azzal lehetett közös érvénnyel jellemezni, hogy ezek (17)-nek 1.—5. relációi valamelyikében rögzítették az egyik paramétert. Ennek az eljárásnak (mint elméletbázisnak) néhány példája:

- adott összetételhez az útamplitúdó egy optima tartozik,
- adott betonösszetételhez a rezgésszám egy optima tartozik,
- adott betonösszetételhez a gyorsulás egy optima tartozik stb.

Könnyen kimutatható [2], hogy egy-egy paraméter ilyen önkényes rögzítése azért nem vezethet általánosítható eredményhez, mert ha (17)-ben egyetlen paramétert a 6. lánctag nélkül rögzítünk, akkor a többi csupán a matematikai algoritmus pusztán működése révén válik határozottá anélkül, hogy a valósággal kapcsolatot tartana. A paraméterek kölcsönhatásait és korlátait tárgyalták a [17—23] forrásmunkák.

6. Vashetontárgyak betonjának feldolgozása és a feldolgozás szabályozásához szükséges adatok

Az eddigiek összefoglalásaként elmondhatjuk, hogy a tárgyalt mérésekkel megállapított adatok rendszere olyan alapot jelent, amely a próbatestek készítésekor (= tömörítésekor) fennállt viszonyokat mind a tömegcikknek számító, mind a monolitikus tárgyak betonjának feldolgozásakor reprodukálhatóvá teszi.

Ha az elméletünk érvényét a vasalt betonok területére is ki akarjuk terjeszteni, akkor nem kerülhetjük el, hogy a feldolgozás során lezajló állapotváltozást összetevőire fel ne bontsuk a következők szerint.

6.1 *A tömörítés és a bedolgozás közötti különbség.* A tömörítés tényleges térfogatesökkenéssel együttjáró tényleges *sűrűség-növekedés*. A *bedolgozás* az az állapotváltozás, amely során az amorf lazabeton a sablonteret (= zsaluteret) hiánytalanul kitölti és konkrét geometriai alakúvá szilárdul. Ez az állapotváltozás azonban nem jár sűrűség-növekedéssel.

6.2 A tömörítést és a bedolgozást ugyan időbelileg nem lehet szétválasztani, energiaigényüket azonban jól meg lehet különböztetni egymástól, energiaigényük szétválasztható.

6.3 *Az energiaigény szétválasztásának módja.* Vasalatlan betontárgyak esetében a formázóeszköz (sablon, zsaluzat) megtöltése akadálymentes. Vasalt betontárgyak esetében azonban a lazabetonnak egy (rendszerint nem elhanyagolható) hányada fennakad a vasalás struktúráján. Ezt a jelenséget és ennek alapján a folyamat felbontását összetevőire (mind egyszerűbb, mind összetettebb geometriai alakú betontárgyak esetében) a 8. ábra szimbolizálja. Az ábrán feltüntetett adagolás utáni állapotok függetlenek az adagolás módjától [16].

A 8. ábra érzékelteti, hogy a vasalatlan beton tömörítése (az esetek döntő többségében) egyidejűleg a bedolgozással is egyenértékű. A dinamikai nyomás mérőszáma tehát mindkét folyamatkomponens energiaigényét méri. Ha a betontárgy vasalt, akkor az állapotváltozás komponenseinek előbbi megkülönböztetése lehetővé teszi a teljes energiaigényt az

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \text{ (cmkps}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

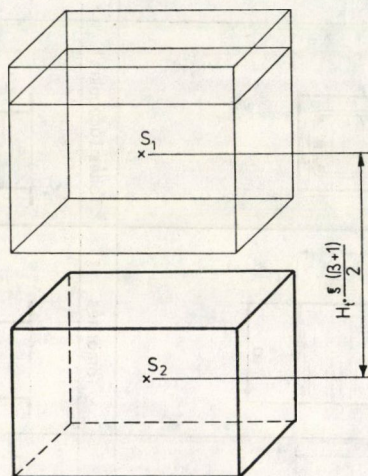
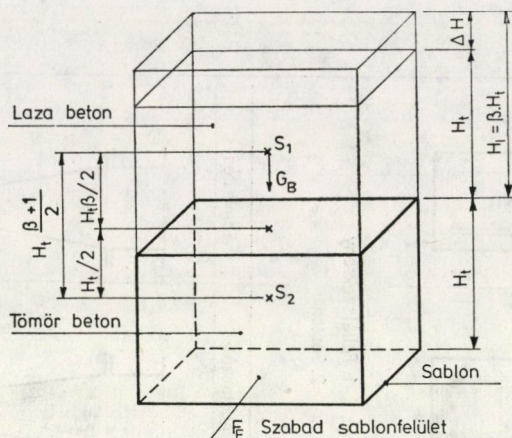
teljesítményösszeg formájában zárt képlettel kifejezni. Itt N_1 a tömörítés, N_2 a bedolgozás, N_3 pedig a rezgőrendszer passzív tömegeinek mozgásbántartásához szükséges teljesítménykomponens [8].

A most tárgyalt mérés célja a bedolgozás szabályozásához szükséges paraméterek meghatározása, tehát N_2 a kitüntetett teljesítménykomponens. Részletesen igazolható, hogy a bedolgozás munkaigénye [8]:

$$L_2 = N_2 t = \gamma V_t H_t \frac{\xi(\beta + 1)}{2} \text{ (cmkp)} \quad (19)$$

ahol

t (s)	= a tömörítési idő
γ (kpc m^{-3})	= a beton térfogatsúlya
V_t (cm 3)	= a tömör betontérfogat
H_t (cm)	= a tömör betontérfogat magassági mérete
β (-)	= a tömörítési tényező
ξ (-)	= az ellenállástényező



9. ábra. Vasalt beton tömörítése

E paraméterek közül részletesen kell foglalkoznunk a ξ ellenállástényezővel. Tételezzük fel, hogy (ellentétben a 8. ábra I/II és II/II eseteivel) a teljes laza-beton-mennyiség fennakad a vasalás struktúráján, nem csupán egy hányada. Ez a feltételezés a (19) összefüggés alapján a valóságosnál mindig nagyobb energiaigényt ad, tehát biztonságnövelő, és egyéb, a sűrűdésből származó ellenállásokat is figyelembe vesz, másrészt lehetővé teszi a következő gondolatmenetet, 9. ábra:

A vasalás struktúrán fennakadt lazabeton S_2 súlypontjának távolságát a tömör beton S_1 súlypontjától a következőképpen adhatjuk meg, csupa ismert adat birtokában:

$$\overline{S_1 S_2} = \frac{H_t}{2} + \frac{\beta H_t}{2} = H_t \frac{\beta + 1}{2}. \quad (20)$$

Ha a $G_b = V_l \gamma$ betonsúly akadálytalanul foglalhatná el az $FH_l = V_l$ teret, a munkavégzés az

$$E_p^+ = G_b \cdot \overline{S_1 S_2} \quad (21)$$

potenciális energiának felelne meg. A vasalás gátló hatása miatt a lazabeton az S_2 súlyponttal jellemzett potenciálszintről az S_1 -gyel jellemzett szintre *csak* (21)-nél nagyobb energia árán juthat. Kézenfekvő a feltevés, hogy a (21)-hez képest megnövekvő energia arányos azzal a felületcsökkenéssel, amely F_b -ben a vasalás alatt bekövetkezik (9. ábra).

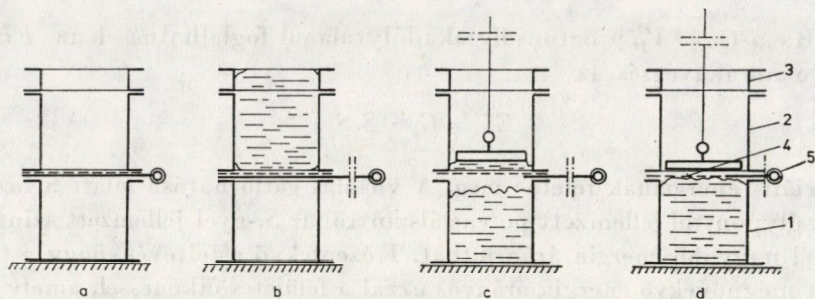
Célszerűnek látszik a vasbetétek *összes vízszintes vetületét* tekinteni felületcsökkentő oknak. Így képezhető a

$$\xi = \frac{F}{F - F_v} = \frac{1}{1 - \frac{F_v}{F}} \quad (22)$$

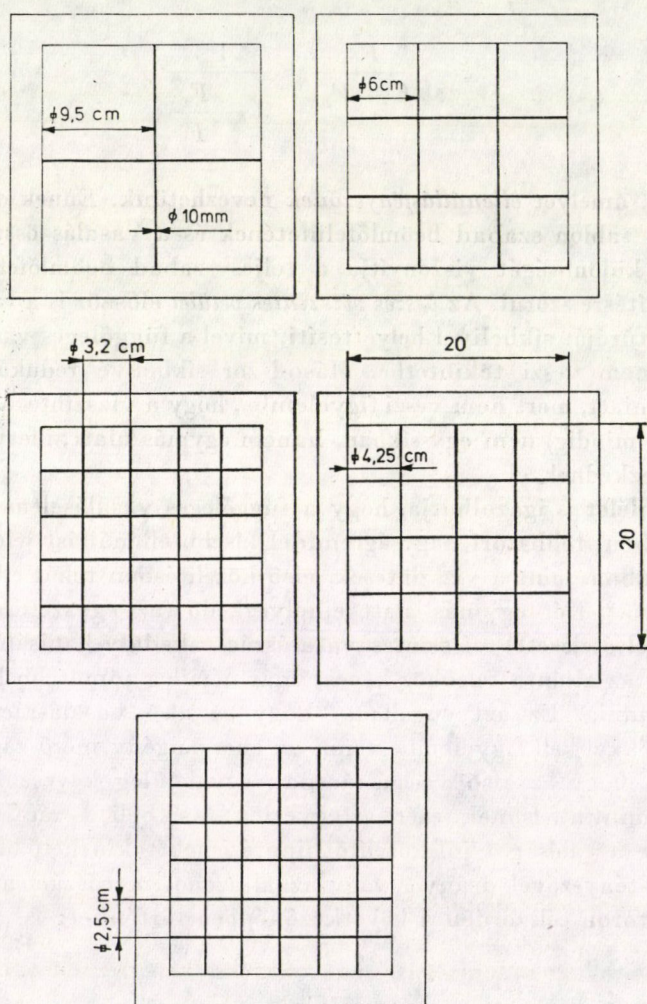
viszonyszám, amelyet *ellenállástényezőnek* nevezhetünk. Ennek olyan definiálása, hogy a sablon szabad beömlőfelületének és a vasalás összes vízszintes vetületének különbségét viszonyítja a teljes szabad beömlőfelülethez, még némi kiegészítésre szorul. Az *összes vízszintes vetület* először is a vasalás mindig térbeli struktúráját síkbelivel helyettesíti, mivel a függőleges vasaláselemeket egyszerűen nem veszi tekintetbe. Másodszor síkbelivé redukálja a térbeli ellenállást amiatt, mert nem veszi figyelembe, hogy a vízszintes vasaláselemek is (általában mindig) nem egy síkban, hanem egymás alatt, illetve fölött több síkban helyezkednek el.

A szemlélet is igazolhatja, hogy a függőleges vasaláselemek (különösen vibrálás közben) többszöri nagyságrenddel kisebb ellenállást jelentenek a bedolgozás útjában, mint a vízszintesek, első közelítésben tehát elhanyagolásuk megengedhető.* Két egymás alatt elhelyezkedő (az egyszerűség érdekében azonosnak feltételezett) vízszintes vasalásrács akadály-hatásában a különbség az, hogy az alsón a felsőhöz képest már némileg tömörebb betonnak kell keresztülhaladnia. Ez azt sugallaná, hogy az alsó vasalásrács ellenállását nagyobb értékkel kell figyelembe venni az energiaigény mérőszámában. Ezzel szemben áll, hogy az alsó vasalásrácsnak egyidejűleg kevesebb betont kell átengednie, mint a felsőnek, ezért az egyetlen — síkbeli — rács ellenállásának számbavétele a valóságot jól közelítő hipotézisnek tekinthető. Ezt elfogadva a ξ ellenállástényezővel arányos vagy azzal azonos mérőszám meghatározása a mérővibrátoron célszerűen a következőképpen történhet:

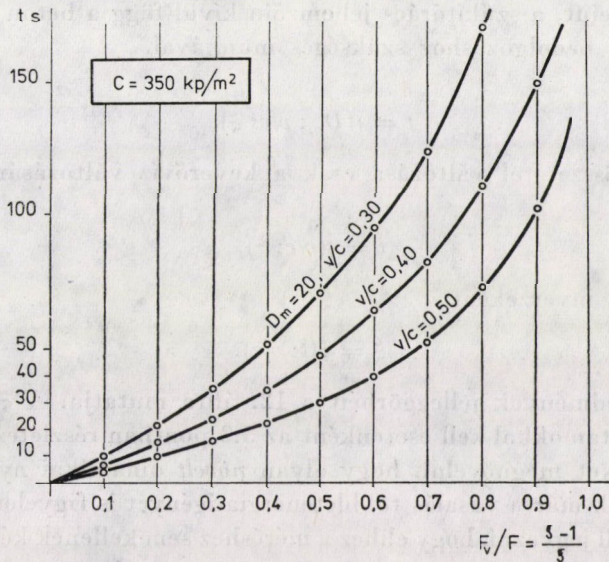
* A szerző evvel kívánja egyszerűsíteni a [24]–[26] forrásmunkákban ismertetett elméleteket.



10. ábra. Mérőeszköz az ξ ellenállástényező méréséhez 1 próbatestsablon, 2 edény, 3 feltétszekrény, 4 szűkítőrács, 5 elzárólemez



11. ábra. Felületszűkítő rácsok



12. ábra. A ξ ellenállástényező jelleggörbéi
 $C = \text{konstans}$, $D_m = \text{konstans}$, A szemszerkezet folytonos

6.4 A mérőeszköz (10a ábra)

Az (1) szabványos kockasablon fölött van a sablon térfogatával egyező térfogatú (2) edény, efölött a (3) feltétszokrény. A (2) edény fenekén van a cserélhető (4) nyílás-szűkítő rács. A javasolható és reálisan lehetséges szűkítőrácsok egy sorozatát a 11. ábra mutatja. A szűkítőrács alatt van az (5) elzárólemez, amely betolt helyzetében a sablon teljes keresztmetszetét lezárja, illetve fordítva. E lemez feladata az, hogy kihúzásakor a sablon teljes töltőfelülete egyszerre, illetve közelítőleg egyszerre váljék szabaddá. A mérőeszköz konstrukcióját illetően követelmény, hogy könnyen szétszedhető, a szűkítőrács cserélhető, az elzárólemez pedig könnyen mozgatható legyen.

6.5 A mérés (10b—d ábra)

Az összeszerelt mérőeszközt rátesszük a mérővibrátorra, a betolt elzárólemezzel elválasztjuk egymástól a (2) edényt és az (1) sablont. Ezután — óvatosan — megtöltjük a (2)—(3) elemekből álló edényt lazabetonnal, 10b ábra, majd gyors mozdulattal kihúzzuk az (5) elzárólemezt és így a lazabeton egy hányada behullik az (1) sablonba, egy hányada pedig fennakad a szűkítőrácsra. A fennakadt betonra rátesszük az írószerkezet érzékelő elemét és megindítjuk a mérővibrátort. A vibrálás hatására a fennakadt beton is lekerül az (1) sablontérbe. Az az idő, amely eltelik, amíg a fennakadt beton az (1)

sablontérbe lejut, a szűkítőrács jellemzőin kívül függ a beton összetételétől is és arányos a bedolgozáshoz szükséges munkával.

Vagyis

$$t = t(D_m; v/c; \xi). \quad (23)$$

Ha a betonösszetétel változása csak a keverővíz változására korlátozódik, akkor

$$t = t(v/c; \xi), \quad (24)$$

illetve ennek inverzeként

$$\xi = \xi(t; v/c). \quad (25)$$

A mérési eredmények jelleggörbéit a 12. ábra mutatja. A ξ függvényeként mért t időtartamokkal kell esetenként az 5.3 pontban részletezett mérés során kapott t időket megnövelni, hogy olyan *növelt* dinamikai nyomásokhoz jussunk, amelyek már a vasalás többletenergia-igényét is figyelembe veszik.

Meg kell jegyezni, hogy ehhez a méréshez sem kellenek kész próbakockák, ezért a szükséges betonmennyiség viszonylag kevés. Figyelemmel azonban arra, hogy elvileg mindegyik szűkítőrácscsal minden, csak a v/c -ben változó betonfajta végig kell mérni, a mérés hosszadalmas. Látható azonban hogy ξ ismerete nélkül a vasalt betonok feldolgozásának bedolgozást jelentő része korrekten nem szabályozható, illetve ez a folyamat rész nem szabályozható.

IRODALOM

1. Épületek és építmények teherhordó szerkezetei, anyag—szerkesztés—méretezés. Magyar Szabványügyi Hivatal I—II. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bpest, 1970. (Szabványgyűjtemény)
2. CSUTOR I.: Egységes elmélet betonok vibrációs tömörítésének szabályozására, különös tekintettel a kavicsbetonokra. Kandidátusi értekezés, Bpest 1968
3. CSUTOR I.: A beton tömörítése, Műszaki Könyvkiadó, Bpest 1967
4. CSUTOR I.: Verdichtungstechnische Beiträge zur Entwurfstheorie der Kiesbetone. *Acta Techn. Hung.*, (1970)
5. CSUTOR I.: Betontömörítő vibrátorasztalok energiaviszonyai, *Építőanyag*, (1971)
6. CSUTOR I.: Merre kereshetjük a hazai betontechnika fejlődésének irányait? *Magyar Építőipar* (1972)
7. CSUTOR I.: Der Phasenwinkel im Betrieb des Nadelrüttlers, *Acta Techn. Hung.*, (1973)
8. CSUTOR I.: Verdichtungstechnische Beiträge zur Entwurfstheorie der Kiesbetone, *Acta Techn. Hung.*, (1974)
9. ÚJHELYI: Beton- és habaresteknológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968
10. PALOTÁS L.: A vasbeton elmélete, Akadémiai Kiadó, Budapest 1973
11. PALOTÁS—KILIÁN—BALÁZS: Betonszilárdítás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968
12. BALÁZS: Különleges betonok, Mérnöki Továbbképző Int. Budapest,
13. BÖLCSKEI E.—DULÁCSKA E.: Statikusok kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974
14. CSUTOR I.: Rütteltechnik in der Teeorie und Praxis bei der Betonverdichtung, *Betonwerk + Fertigteiltechnik*, Wiesbaden (1973)
15. CSUTOR, J.: A fajlagos tömörítési munka hatása a beton kockaszilárdságára, *Építőanyag* (1975)
16. CSUTOR I.: A Shock-beton (ütővibrálás), *Magyar Építőipar* (1975)
17. l'HERMITE, R.: Essai de theorie sur la vibration du béton. *Travaux* 8 (1944)

18. WALZ, K.: Verarbeitbarkeit und mechanische Eigenschaften des Frischbetons. *Deutscher Ausschuß für Stahlbeton*, Heft 91.
19. PLOWMAN, R.: Compaction of Concrete by Vibration. *Engineer* (1957), 203—830.
20. GYESZOV, K.: Vibrirannij beton. Moszkva 1939—1956 Goisztroizdat
21. GYESZOV, K.: Racionalnie oborudovanyija dlja vibracii betonnych szmeszei. Moszkva 1959 Technologija i sztroisztva tjazselich betonov.
22. CUSENS, L.: The Influence of Amplitude and Frequency in the Compaction of Concrete by Table Vibration. *Magazine of Concrete Research*, (1958) 79
23. TÓTH, F.: A vibrált frissbeton és a vibrátor kölcsönhatása, különös tekintettel a rúdvibrátor méretezésére. Kandidátusi értekezés, Budapest 1967 (MTA könyvtár)
24. TÓTH, F.: Építőelemek sorozatgyártása, Műszaki Könyvkiadó Budapest 1962
25. FAURY, K.: Le béton, Dunod, Paris 1958
26. REBUT, M.: Observations sur les méthodes de vibration des bétons. *Revue des Matériaux*, (1960), 128—130

Vorschläge zur Verbesserung des Regelungssystems der Betontechnik mit besonderer Rücksicht auf die Kiesbetone. Um die Widersprüche, die bei der Qualifizierung der Betone durch normgerechte Prüfkörper auftreten, aufzulösen, sollten die folgenden Maßnahmen durchgeführt werden: Der Meßvibrator soll konstruiert und zu ein leicht behandelbares Instrument entwickelt werden. Der Meßvibrator und seine behandelten Teile sollten standardisiert werden. Bei der Herstellung der Prüfkörper sollte man auch jene, noch nicht gemessenen Parameter messen, ohne welche die Verarbeitung des frisch gemischten Betons nicht korrekt geregelt werden kann. Man sollte Tabelle oder Nomogramme zusammenstellen — analog den in der Betonwurfstheorie angewandten Methoden — die bei der Herstellung der Prüfkörper bestehenden oder auf dieselben gemessenen Kennwerte auch für die wirkliche Größe reproduzierbar machen. Die Teile der gegenwärtig gültigen Normen, die zwischen der Theorie und Praxis Widersprüche enthalten, sollten geändert werden. Es sollten die (sehr einfachen) Regeln zusammengefaßt werden, die durch die auf dem Meßbrüttler hergestellten Prüfkörper gelieferten Angaben auch bei anderen Verarbeitungsmethoden brauchbar machen.

Suggestions for the Improvement of the Control System of Concrete Technique with Particular Consideration of Gravel Concretes. In order to eliminate contradictions which may be pointed out when the concretes are graded by standard specimens, the following should be done: 1. The construction of the measuring vibrator should be designed and developed into an instrument to be uniformly treated. 2. Then, the measuring vibrator and its parts dealt with should be standardized. 3. In producing the specimens also those parameters should be measured which have not been systematically measured as yet, without which the working of the freshly mixed concrete cannot correctly be controlled. 4. Tables and charts should be established in such a way that is analogous to the methods applied so far in the planning of concrete which make reproduceable the conditions ruling during the production of the specimens or corresponding to the index numbers measured on these latter, also for actual size. 5. The parts of the standard specifications valid so far should appropriately be altered whereby the contradictions by virtue of the above statements could be eliminated. 6. Those (very simple) rules which permit the use of the results furnished by the specimens produced on the measuring vibrator for productions methods other than vibration.