

EGYSÉGES ELMÉLET A VIBRÁCIÓS BETONTÖMÖRÍTÉS MÓDJAINAK SZABÁLYOZÁSÁRA, KÖLÖNÖS TEKINTETTEL A KAVICSBETONOKRA

CSUTOR JÁNOS

É. V. M. BERUHÁZÁSI VÁLLALAT

[Beérkezett 1967. december 18-án]

A betontömörítési folyamat jellemzésére eddig közzétett elméletek figyelmen kívül hagyták azt a körülményt, hogy a betontömörítés: munkavégzés. A tanulmány az öt kategóriába csoportosítható tömörítési módok mindegyikére munkavégzést mérő oly képleteket vezet le, melyek nyomásdimenziójuk ellenére a betont ért dinamikai hatást mérik. A képletek birtokában mód nyílik arra, hogy a betonpróbatetek az eddigi szabványos dögölés helyett etalon-vibrátorasztalon tömöríttessenek. Az eközben végzett munka a vonatkozó képlettel számszerűen meghatározható. A legjobb tömörítési munka az, mely a legnagyobb betonszilárdságot eredményezi. Az ehhez szükséges munkamennyiség anyagtulajdonságnak fogható fel, s ha ez valamely tömörítési mód esetében már megállapítást nyert, a bemutatott képletekkel — újabb próbák szükségessége nélkül — megadható, hogy egyéb tömörítési eljárások esetében milyen fokú tömörítést kell alkalmazni.

1. Bevezetés

Napjainkban a betontervezés nagyon sok kísérleti adat alapján rendszerint a következő lépésekből áll: *a)* a vízcementtényező meghatározása; *b)* a vízcementtényező redukálása; *c)* a gazdaságos cementmennyiség kiválasztása; *d)* az adalékanyag finomsági mérőszámának meghatározása; *e)* a finomsági mérőszám ellenőrzése az optimális finomsági mérőszám alapján.

E lépések számértékei, kísérleti és tapasztalati adatokra épülve, a betonminőségek széles skálájára, bőséges táblázatokba foglaltan állanak rendelkezésre, másrészt egymásból következnek, ezért feltételei a leggazdaságosabb betonnak. Az anyagösszetétel gondos — tervezett — megválasztása után a betontervezés szabványos próbakockák roncsolásos vizsgálatával ellenőrzi, hogy a nyersanyagösszetétel a kívánt betonminőséget biztosítja-e. Ha nem, az összetétel arányszámain korrekciókat hajt végre és ellenőrzésképpen újabb próbakockákat roncsol.

Eközben a próbakockák készítésének lényeges mozzanata a beton bedolgozása — tömörítése — a kockasablonba. Az MSZ 4715 szabvány valamennyi szokványos próbakocka méretre rögzíti a tömörítés *reprodukálható módját*. Ezek közül ragadjuk ki a 20.20-as kockára vonatkozót, amely a következőképpen hangzik:

A betont két rétegben kell a sablonba berakni és $G = 12$ kp súlyú döngölőszerszámmal $h = 15$ cm magasról rétegenként $n = 48$, összesen 96 ütéssel kell tömöríteni.

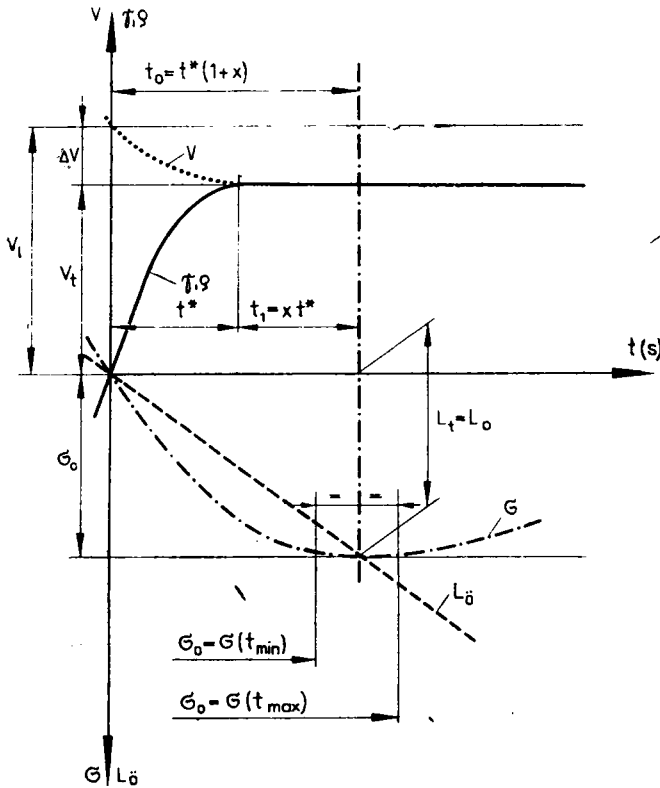
A tömörítési munka tehát

$$L_t = 12 \cdot 15 \cdot 96 = 1,73 \cdot 10^4 \text{ cmkp.} \quad (1)$$

Ez a munka ugyan állandó érték, de a reprodukálhatóság szempontjából jól definiált. Könnyű felismerni, hogy a betontervezés leírt elve összehasonlító mérőszámok képzését célozza, nem anyagállandók meghatározását. Ez következik abból, hogy a betonszilárdság maga is fiktív érték, csak akkor egyértelmű számszerű adat, ha mind a próbatest, mind ennek készítési körülményeit egyértelműen meghatároztuk.

Tetszőleges beton-, vagy vasbetontárgy tömörítésének célja — más célokkal összefüggésben is — a legjobb betonszilárdság elérése. Ebből a szempontból a hivatkozott szabványelőírás bírálható. Ugyanis egyetlen állandó L_t tömörítési munka nem rendelhető *minden* beton optimális szilárdságához, e tekintetben most közömbös, hogy (1) általában a feltétlenül szükségesnél mindig több. A próbakocka készítésekor emiatt helyesebb lenne olyan eljárás, amely $L_1 < L_2 < L_3 \dots$ változó tömörítési munkával kockasorozatot állítana elő. Az így készített kockák roncsolásos vizsgálata révén kiválasztható az a munkamennyiség, amelynek alkalmazása révén a tervezés során meghatározott anyagösszetétel az elérendő betonszilárdságot adja. Ebben az esetben konkrét munkaértéket rendelhetünk konkrét betonszilárdsághoz. A beton szilárdsága az 1. ábrának megfelelően egy — aránylag pontosan elhatárolható — munkatartományban éri el az optimális értéket. E tartomány elérése után a műveletbe minden további munkamennyiség befektetése felesleges. Egyfelől a betonszilárdságot bizonyíthatóan nem növeli, másfelől megváltoztathatja az optimális szilárdságot adó anyagszerkezetet, ami mindkét esetben hátrányt jelent. Az optimális szilárdság és az ennek eléréséhez szükséges munkamennyiség egymáshoz rendelése tehát nagy elvi és gyakorlati jelentőségű, s ebben láthatjuk a betontömörítésnek, mint problémának a lényegét. Ezt így fogalmazhatjuk: a tömörítés akkor mondható jónak, ha az optimális betonszilárdságot minimális munkamennyiséggel éri el.

A betontervezés napjainkban élő elve és a magas- és mélyépítőipari kivitelezés, valamint az üzemi előregyártás mai gyakorlata között elvi törést mutathatunk ki. Ez abban áll, hogy a próbakocka készítése során a betonszilárdsághoz hozzárendelhető munkamennyiség pontos körülírására mindmáig nem sikerült egységes elveket találni. Az említett építőipari területen ugyanis egyeduralkodónak tekinthetjük a *vibrációs betontömörítést*. E tömörítési mód a kockabetont ért primitív döngöléstől pedig alapvetően eltérő dinamikai hatást képvisel.



1. ábra. A tömörítés során szerepet játszó mennyiségek időbeli változása és összefüggése

A vibráció során a betont gyors rezgésimpulzusok érik, amelyeket különféle gépszerkezetek közölnek vele. Napjainkban a következő — egymástól jól elhatárolható — módokat különböztethetjük meg:

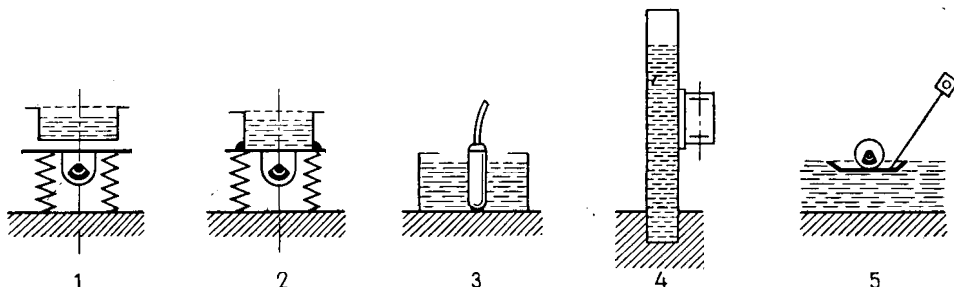
- a) A vibrátorasztalon rögzítés nélkül (szabadon) felfekvő gyártósablon esete,
- b) a vibrátorasztalhoz mereven rögzített gyártósablon,
- c) a rúdvrátó,
- d) a zsaluvibrátor. Ennek alkalmazása során három eset lehetséges:
 - tömörítés rugalmas zsalutáblák között,
 - tömörítés nagyméretű gyártósablonokban,
 - tömörítés csoportzsaluzatokban.
- e) a lapvibrátor.

Ezt az öt alaptípust — amelyre a többi vibrációs mód visszavezethető — vázlatosan a 2. ábra szemlélteti. Bármelyikkel összefüggésben mindig két feladat merül fel

- vagy gépszerkezetet kell tervezni előre megadott beton által képviselt üzemi viszonyokhoz,

— vagy ismert gépszerkezet üzemviszonyait kell meghatározni adott betonban.

Akár az egyik, akár a másik esettel állunk is szemben, a megoldás mindig azzal egyenértékű, hogy a tömörítés folyamatát szabályozottá igyekszünk tenni, a szabályozás kereteit pedig éppen az optimális betonszilárdság és a minimális munkamennyiség egymáshoz rendelése tűzi ki.



2. ábra. Vibrációs tömörítési módok alaptípusai: 1 — vibrátorasztalon szabadon felfekvő sablon; 2 — vibrátorasztalon mereven kapcsolt sablon; 3 — rúd vibrátor; 4 — zsaluvibrátor; 5 — lapvibrátor

Az eddig ismertetett elméleteket egységesen azzal jellemezhetjük, hogy a tömörítési folyamat szabályozása érdekében kapcsolatot kerestek a beton elért (vagy: elérendő) szilárdsága és az alkalmazott rezgés jellemzői között. E legfontosabb rezgésjellemzők: az amplitúdó, a rezgésebesség és a rezgés-gyorsulás. Amiatt azonban, mivel a rezgésjellemzők között a mennyiségi kapcsolat

$$\text{út} \rightarrow \text{sebesség} \rightarrow \text{gyorsulás} = A_0 \rightarrow A_0\omega \rightarrow A_0\omega^2,$$

ahol

A_0 (cm) az egytömegűnek tekintett rezgőrendszer maximális amplitúdója,
 ω (s^{-1}) a gerjesztőmű forgásának szögsebessége,

az az elmélet, amely az amplitúdót teszi meg a kapcsolatképzés alapjává, alaki ellentmondásba kerül azokkal az elméletekkel, amelyek ugyanezt a sebesség, vagy a gyorsulás elsődlegességére építik, mert az amplitúdó gyakorlatilag független a szögsebességtől (tehát: a rezgésszámtól), a másik két mennyiség viszont nem. Ha pedig ω változik, a többi mennyiség változása nem szükségszerűen azonos értelmű a változás irányával.

Mivel bármelyik rezgésjellemző önmagában csak egyik alkotója a tömörítési munkavégzésnek, a kialakult sok elmélet között kimutatható ellentmondásokat röviden azzal magyarázhatjuk, hogy egy-egy rezgésjellemző a tömörítési munka egyértelmű jellemzésére elégtelen.

A következőkben ismertetendő elmélet ezért szakít azzal az elméletalkotási móddal, amely egy kiragadott rezgésjellemzőt igyekszik kapcsolatba

hozni a betontulajdonságot jelentő paraméterekkel, hanem a tömörítés során a munkavégzést igyekszik minél pontosabban meghatározni az alábbi megfontolások alapján.

A kocka készítésekor a laza betonállományt változtattuk térfogatcsökkentés árán tömör állományá. Más szóval: a beton sűrűségét térfogatcsökkentés révén növeljük. A frissen tömörített beton húzószilárdságáról gyakorlati értelemben nem beszélhetünk, ezért minden betontárgy készítésekor a tömörítés a magassági méret csökkentésével egyenértékű, a gravitáció irányával párhuzamosan. Ha V_l és V_t a laza, ill. tömör térfogatok, továbbá H_l és H_t a hozzájuk tartozó magasság-méretek, akkor a tömörödési tényezőt a

$$\beta = \frac{V_l}{V_t} = \frac{H_l}{H_t} > 1 \quad (2)$$

viszonnyal definiálhatjuk. Ez esetben a térfogatváltozás

$$\Delta V = 20 \cdot 20 \cdot \Delta H = 4 \cdot 10^2 \cdot H_t(\beta - 1) = 8 \cdot 10^3(\beta - 1) \text{ cm}^3.$$

A kocka készítésekor tehát a fajlagos tömörítési munkavégzés

$$\lambda = \frac{L_t}{\Delta V} = \frac{1,73 \cdot 10^4}{8 \cdot 10^3(\beta - 1)} = \frac{2,16}{\beta - 1} \text{ cmkp/cm}^3 \text{ térf. cs.} \quad (3)$$

A betonkocka tömörítésére elvben lehetséges az a módszer is, hogy a szabad betonfelületre $20 \cdot 20$ cm alapterületű és megfelelően vastag acéllemezt teszünk és ezt olyan P erővel nyomjuk, hogy a bekövetkező ΔH magasságcsökkenés — mint út — mentén végzett munka legyen egyenlő az (1) alatti értékkel. Mivel eközben a beton ellenállása változó, fennáll, hogy

$$\frac{P \cdot \Delta H}{2} = \frac{PH_t(\beta - 1)}{2} = 1,73 \cdot 10^4, \quad (4)$$

amiből a fiktív tömörítőerő

$$P = \frac{1,73 \cdot 10^3}{\beta - 1} \text{ kp.}$$

Ennek alapján pedig a folyamat jellemzésére alkalmas fajlagos mennyiség, a fiktív nyomás

$$P_f = \frac{P}{F} = \frac{1,73 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^2(\beta - 1)} = \frac{4,32}{\beta - 1} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (5)$$

Ezt a fiktív nyomást, mivel a fajlagos tömörítési munka (3) alatti értékével arányos, e munka jellemzésére szintén felhasználhatjuk. Erre egyszerűbb mértékegységénél fogva alkalmasabb. Könnyen belátható, hogy ez a nyomás nem méri a kockasablonban — mint tömörített térben — a művelet során fennálló abszolút nyomást, mert összesített hatást, munkát mér. Ezért hatásmérő, nem állapotjelző mennyiség. Látható, hogy a reprodukálhatóság szempontjából — és a számértékektől függetlenül — (1), (3) és (5) is a munkára jellemző mennyiség. A végzett munka függ magától a betontól, ezért a munkavégzésre épített elmélet révén az ellentmondások feloldhatók és a reprodukálhatóság feltételei megfogalmazhatók. Ezáltal a betontervezés tevékenységét a hiányzó befejező lépéssel ki lehet egészíteni.

A tömörítés során kimutatható — mérhető, vagy számítható — munkamennyiséget két alkotóra bonthatjuk. Az egyik a beton tömörítésére, a másik a gépszerkezet mozgásban tartásához szükséges. Vizsgálataink elsősorban a beton tömörítésére szükséges munka-alkotó meghatározására vonatkoznak, esetenként azonban a gépszerkezet mozgásának munkaigényére is következtethetünk.

2. A beton tömörödése általában

A tömörödést a 3. ábra alapján úgy határozhatjuk meg, hogy kivétel nélkül minden esetben a

$$V_l = B D H_l = F H_l$$

laza betontérfogatot kell a

$$V_l = B D H_l = F H_l$$

tömör térfogattá változtatnunk. Mivel a frissen tömörített betonnak a cementkötés befejeződéséig nincsen gyakorlatilag számbavehető húzószilárdsága, a

$$\Delta H = H_l - H_t \quad V_l = F \cdot H_t$$

$$\frac{H_t}{H_l} = \beta > 1 \quad V_l = F \cdot H_t$$

bekövetkező térfogatcsökkenésnek szükségszerűen függőleges irányúnak kell lennie és azonos a

$$\Delta V = V_l - V_t$$

térfogatváltozással, illetve arányos a

$$\Delta H = H_l - H_t = H_l(\beta - 1) \quad (6)$$

magasságváltozással.

A 3. ábra alapján az a hallgatólagos kikötés, hogy a V_l laza betontérfogat elegyengetett szabad felületű legyen, nem jelent olyan korlátozó feltevést, amely ettől eltérő gyakorlati esetekben a kapott eredmények

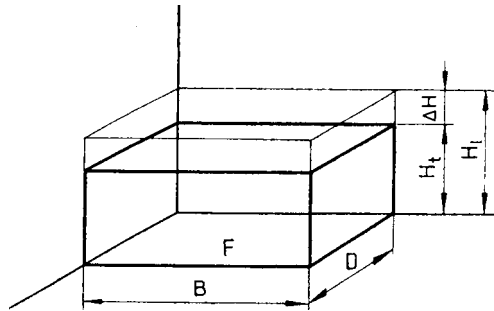
applikálását akadályozná. A 3. ábra nem csupán egy makroszkópiusan jól definiálható tér lehet (pl. gyártósablon, vagy zsalutér), hanem a laza betonban tetszőleges koordináta-rendszerben és koordinátákkal meghatározott elemi szabályos térfogat is.

Azt a teret ugyanis, amelyben a V_t tömör térfogatú betontárgy kialakul, háromféleképpen lehet tölteni:

1. A β tömörödési tényező ismeretében a térbe annyi betont adagolnak egyszeri kiméréssel és adagban, amelyből a kívánt V_t térfogat kialakulhat. Ez esetben közömbös, hogy a tételhatárolás oldalfalai milyen magasak. A beadagolt beton nem elegyengetett felületű, hanem a tömörítőszerkezet működésének hatására válik azzá.

2. A tételhatárolás oldalfalai β arányában magasabbak a V_t -hez tartozó H_t magasságnál. Ez esetben az elegyengetés az adagolás szerves része. Ez az eset pl. a blokkgyártó vibróprések esetében.

3. A teret nagyon kis adagokban (akár pl. kézi lapátolással) töltik fel betonnal, miközben egyidejűleg működik a tömörítőszerkezet. Ez esetben minden egyes részadag azonnal tömörödik.

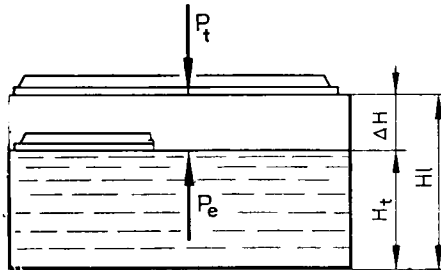


3. ábra. A tömörödés térfogatsökkenés révén előálló sűrűség-növelés

Egyszerűen belátható, hogy ezek a töltési módok a 2. esetre visszavezethetők. Ezzel igazoltuk, hogy elegyengetett szabad betonfelülettel számolni nem jelenti az általános eset korlátozását.

Tetszőleges, de csak célszerűen választható tömörítőszerkezet működésének hatására a V_t laza térfogat tömörre válik. Eközben a betonalkotók esetleges jellegű felületi kapcsolódását változtattuk, az alkotók között fennálló súrlódással szemben *munkát végeztünk*. A tömörítés tehát munkavégzés, amelynek során a beton sűrűségét növeljük. Ezzel egyidejűleg a laza beton-állomány térfogata a határértéket jelentő V_t térfogathoz közelít. A térfogatváltozás mérhető részét (= maradó alakváltozás) a beton térfogatsúlyának növekedése arányosan követi. Az ehhez az alakváltozáshoz szükséges időtartam függ a beton tulajdonságaitól, valamint a tömörítőszerkezet paramétereitől egyidejűleg. A mérhető térfogatváltozást követő szakaszban az alakváltozás rugalmas, ennek során kialakul a betonalkotók legmegfelelőbb

szemcseelrendeződése és intenzív légtelenedés figyelhető meg. Lényeges, hogy a rugalmas alakváltozás időszakában a beton térfogatsúlya változatlan marad, holott anyagszerkezete, s ezzel együtt végszilárdsága feltétlenül változik. A β érték és ezzel összefüggésben ΔH a beton szemcseszerkezetének és a fennálló konzisztenciának egyidejűleg függvénye. Ez azt mutatja, hogy a frissbeton tömörítési munkaiágénye belső ellenállásainak makroszkópikus eredőjétől függ. Ha az *azonos beton* fogalmát a betontechnikai szabályoknak megfelelően ismert szórással definiálnak tekintjük, akkor kimondhatjuk, hogy



4. ábra. Egy fiktív P_t tömörítő erő munkavégzése. $L = (P_t \cdot \Delta H)/2$ cmkp; P_t = fiktív tömörítő erő; P_e = a beton belső ellenállásainak eredője

azonos betonok tömörítési munkaiágénye egyébként azonos készítési viszonyok között azonos és statisztikusan állandó. Ha

- t^* s a beton mérhető térfogatváltozásához szükséges időtartam,
- $t_1 = x \cdot t^*$ s a rugalmas alakváltozás tartama, ahol
- $x = \text{egy, csak kísérletekkel meghatározható arányossági tényező,}$

akkor a tömörítés lefolyására áll, hogy

$$t_0 = t^* + t_1 = t^* + xt^* = t^*(1 + x). \quad (7)$$

E mennyiségek időbeli változásának menetét az 1. ábra szemlélteti.

Ha a tömörítési munkaiágénnyel a beton belső ellenállásainak eredőjét arányosnak tekintjük, akkor a tömör állapot eléréséhez szükséges munkát a 4. ábrával érzékeltethetjük. Egy fiktív (feltételezett) P_t statikus erő, ha elegendően és célszerűen nagy, a betont a kívánt ΔH úton össze tudja nyomni. E feltételezés során közömbös, hogy ilyen sajtolás az adalékszemesék belső elrendeződését kevésbé segítheti elő, mint pl. a dinamikai hatást jelentő vibráció. Az ellenállás e feltételezett sajtolás során változó, ezért a végzett munkára áll, hogy

$$\frac{P_t \cdot \Delta H}{2} = L_0 \text{ cmkp.} \quad (8)$$

A tömörítéshez szükséges időtartamról — az előbbieken túl — még annyit mondhatunk, hogy adott beton és tömörítőeszköz esetében az optimális beton-

szilárdság elérése, vagy megközelítése határozza meg. Az optimális szilárdság elérésének időpontját (esetleg: időtartományát) a tömörítés során külső jelenségek alapján felismerni nem lehet, találhatunk azonban tényezőt, amely erről az időpontról tájékozathat. Ennek keresése során megállapíthatjuk, hogy a szilárdság (= a beton végszilárdsága) a mérhető térfogatváltozás befejezésével még nem érheti el az optimális értéket, ez az időpont a rugalmas alakváltozás egy meghatározott szakaszán következik be (1. ábra, σ_0). Eddig az időpontig az idővel egyenes arányosságban álló munkamennyiséget fektetünk a tömörítésbe, amit L_0 *optimális munkamennyiségnek* nevezhetünk. Az ehhez tartozó optimális tömörítési időt olyan próbakockák roncsolásos vizsgálatával szűrhetjük ki, amelyeket lépcsőzetesen növelt időtartamokkal készítettünk. Az így meghatározott optimális időtartamot célszerű (7) szerint a mérhető térfogatváltozáshoz tartozó időtartam többszöröseként kifejezni.

Az optimális időtartamot nem lehet egzakt időpontnak tekinteni, hanem *egy tartomány közepének*, mivel — kis eltéréssel előtte és utána is — gyakorlatilag azonos szilárdsági viszonyok uralkodnak. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy az optimális időtartamon túl a beton szilárdsága nem csökken rohamosan.

Az eddigiek alapján a fajlagos munkavégzés a tömörítés során

$$\lambda = \frac{L_0}{\Delta V} = \frac{P_t \cdot \Delta H}{2 V_l (\beta - 1)} \text{ cmkp/cm}^3 \text{ térf. cs.} \quad (9)$$

Ezt a fajlagos munkamennyiséget *anyagjellemzőnek* tekinthetjük, amelynek számértékét annál pontosabban adhatjuk meg, minél pontosabban tudjuk számítani a $P_t \cdot \Delta H$ munkavégzést és minél pontosabban ismerjük a betontulajdonságot képviselő β tömörödési tényezőt. Egy arányossági tényezővel a fajlagos munkamennyiséget a (9) alatt közölt mértékegység helyett a

$$\lambda = \xi_1 \frac{P_t \cdot \Delta H}{2 V_l (\beta - 1)} \text{ Ws/cm}^3 \text{ térf. cs.} \quad (10)$$

mértékegységben is kifejezhetjük.

A tömörödési tényező számértékeinek pontossága attól függ, mennyire pontosan sikerül a laza beton V_l térfogatát reprodukálhatóan definiálni. Mivel a beton laza állapota a tömörítés előtt nagyon sokféle lehet és attól függ: éppen hol tartózkodik a tömörített térbe történő betöltés előtt, azért a beton laza térfogatának (V_l) azt a térfogatot tekintjük, amelyet a keverőgép dobjában elfoglal abban a rögzített pillanatban, amikor a laza beton homogén állapota kialakult. E definíciókat még a következővel egészítjük ki: akár a frissbeton a keverőgépben, akár a tömörített beton a sablon-, vagy zsalutérben akkor homogén, ha tetszőleges koordinátákkal meghatározott helyen a betonalkotók aránya a térfogategységben statisztikusan állandó.

3. A vibrációs betontömörítési módok felosztása a munkavégzés számítása szempontjából

Ha az 1. pontban tárgyalt vibrációs tömörítési módokat a munkavégzés számítása szempontjából vizsgáljuk, akkor megállapíthatjuk, hogy

a) a vibrátorasztal mindkét üzemi esetében és a lapvibrátor esetében a gerjesztőmű vízszintes tengelyállású, míg

b) a zsaluvibrátor mindhárom üzemi esetében és a rúd-vibrátor esetében függőleges tengelyállású. A két helyzet a munkavégzés számítására eltérő módokat határoz meg.

4. Munkavégzés vízszintes tengelyállású gerjesztés esetében

Ha P (kp) az erő, m (kps² cm⁻¹), a tömeg és a (cms⁻²) a gyorsulás, akkor Newton tétele értelmében

$$P = ma = m \frac{dv}{dt},$$

ahol v (cms⁻¹) a sebesség. Ha v egyidejűleg az s útnak is függvénye, akkor

$$P = m \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = mv \frac{dv}{ds};$$

innen

$$P \cdot ds = mv \cdot dv,$$

illetve integrálás után

$$Ps = \frac{mv^2}{2}. \quad (11)$$

Ehhez megjegyezzük, hogy az indítás viszonyai miatt $s_1 = 0$ és $v_1 = 0$, emiatt a kezdeti és végállapotok között különbséget tevő indexekre nincsen szükség. A (11) egyenlet problémánk szempontjából a legfontosabb alapösszefüggés. Ugyanis a tömörítésnek a 2. pontban leírt értelmezése szerint

$$Ps = \frac{P_t \cdot \Delta H}{2}, \quad (12)$$

emiatt (10), (11) és (12)-vel

$$\lambda = \xi_1 \frac{mv^2}{V_t(\beta - 1)} = \xi_1 \frac{G_b}{V_t} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{\beta - 1} = \xi_1 \gamma \frac{1}{\beta - 1} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ Ws/cm}^3 \text{ térf. cs.}, \quad (13)$$

ahol γ a frissbeton tömörített térfogatsúlya, G_b a tömörített beton súlya, v az alkalmazott rezgések célszerűen számított mértékadó sebessége.

Mivel (13)-nak, de ez esetben a fajlagos munkavégzésnek mértékegysége nem szemléletes és nehézkes, célszerű más fizikai jellemző mennyiséghez folyamodni. Ezt a következőképpen tehetjük:

Mivel (8)-ból

$$P_t = \frac{2L_\delta}{\Delta H},$$

azért (11) és (12)-vel

$$P_t = \frac{mv^2}{H_t(\beta - 1)} \text{ kp.} \quad (14)$$

Míthogy a P_t fiktív tömörítőerő a 4. ábra tanúsága szerint mindig a tömörített betontest F cm² alapfelülete fölött hat, ezért a fiktív nyomásérték

$$p_d = \frac{P_t}{F} = \frac{mv^2}{F H_t(\beta - 1)} = \frac{mv^2}{V_t(\beta - 1)} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (15)$$

Láthatjuk, hogy (13) és (15) először egy közbülső alaki változatukban, emiatt azonban minden változatukban is tartalmilag azonosak, konkrét számértéket tekintve eltérhetnek egymástól. Ezzel igazoltuk, hogy a fiktív nyomás, amelyet célszerűen *dinamikai nyomásnak* nevezhetünk, alkalmas a tömörítési munka mérésére, ezzel a betont ért dinamikai hatás jellemzésére. Ezért eszköz lehet a reprodukálhatóság feltételeinek megfogalmazására.

Ha feltesszük, hogy ismerjük az 1. ábra szerinti t_0 tömörítési időtartamot, akkor gondolatmenetünket a következőképpen folytathatjuk. Ha pl. a szabadon felfekvő gyártószablon esetéről van szó, akkor feltehetjük, hogy a tömörödés egyrészt a sablon visszaesésekor, másrészt különmozgásának felső holtpontjában következik be. Ez ugyan csak közelítést jelentő feltevés, következtetéseinket azonban minőségileg nem befolyásolja. Ez azt jelenti, hogy a (11)-ben kifejezett lendület a sablon rezgésszámával azonos számú a vonatkozó időegység alatt.

Ha tehát a *mértékadó* percenkénti rezgésszám n , akkor t_0 idő alatt a lendületváltozások száma

$$\frac{n}{60} \cdot t_0,$$

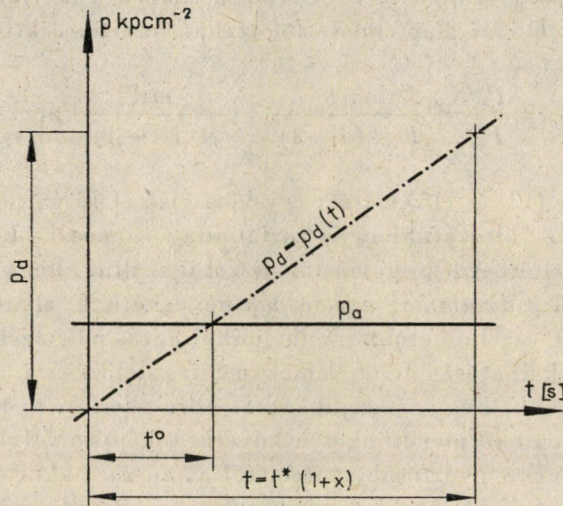
ezért a mértékadó lendületszám:

$$\frac{mv^2}{2} \cdot \frac{n}{60} \cdot t_0.$$

A dinamikai nyomás tehát

$$p_d = \frac{P_t}{F} = \frac{mv^2 n t_0}{60 V_t(\beta - 1)} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (16)$$

Ebbe a képletbe mindig a mértékadó rezgésszámot kell helyettesíteni, mert pl. a szabadon felfekvő gyártósablon rezgésszáma a harmónikusan gerjesztett asztal rezgésszámától eltér, nála kisebb [1]. A képlet egyéb mennyiségeit a vibrációs mód tulajdonságai befolyásolják. Vibrátorasztalok esetében mindenkor $m = G_b/g$, mivel a beton a gyártósablonhoz, mint rögzített koordináta-rendszerhez viszonyítva tömörödik. A lapvibrátor esetében azonban — e szerkezet működésmódjából kifolyólag — $m = G_\delta/g$, ahol G_δ a teljes szerkezetsúly. V_t konkrét gyártósablon esetében egyszerűen adott, a lapvibrátor esetében pedig a szerkezet rezgőlapjának felületével és a H_t tömör rétegvastagsággal meghatározott betontérfogat.



5. ábra. Az abszolút és a dinamikai nyomás kapcsolata

A v az egytömegűnek tekintett rezgőrendszer mértékadó sebessége. Ezt a szabadon felfekvő gyártósablon esetében a rezgéstorzulások ismeretében lehet számítani, mereven kapcsolt sablon és lapvibrátor esetében pedig az átlagos sebességet kell meghatározni.

A dinamikai nyomás — amint az előadottakból kitűnik — elsősorban hatásmérő mennyiség és csak másodsorban jöhet számításba mint a tömörített tér feszültségállapotának jellemzője. Mivel e nyomás kifejezése arról tanúskodik, hogy értéke az idővel egyenes arányban áll, a tömörített tér feszültségállapotának mérőszámát a valósággal várhatóan azonosnak csak egy kitüntetett t^0 időben adhatja.

A tömörített tér feszültségállapota a rendszerben ható aktív erőttől függ. Ez pl. a vibrátorasztal esetében az eredő centrifugális gerjesztőerő: C_0 . Ha tehát azt az időértéket keressük, amelyben a dinamikai nyomás képlete olyan számértéket ad, amely várhatóan azonos a tömörített tér feszültségállapotának

értékével, akkor fenn kell állnia, hogy

$$\frac{mv^2 n t^0}{60 V_t(\beta - 1)} = \frac{C_0}{F}$$

Innen

$$t^0 = \frac{C_0 60 \cdot H_t(\beta - 1)}{mv^2 n} \text{ s.} \quad (17)$$

A tömörített tér feszültségállapota — mint a folyamat tartama alatt csak az állandó aktív erőtől függő mennyiség — szintén állandó, egyidejűleg azonos a térben uralkodó abszolút nyomással. A dinamikai és az abszolút nyomás kapcsolatát az 5. ábra érzékelteti. A (16) összefüggést a vibrációs módok jellegzetességei alapján kell kezelni és a benne szereplő mennyiségeket ennek megfelelően kell meghatározni.

5. Munkavégzés függőleges tengelyállású gerjesztés esetében

Részben a beton, részben más gerjesztett elemek csillapító hatása miatt a gerjesztett és a gerjesztő rezgések nincsenek fázisban. Ezért az elemi munka kifejezése az ε fázisszöggel

$$dL = C_0 v_0 \sin \omega t \cdot \cos(\omega t - \varepsilon) dt \quad (18)$$

alakú. Egy teljes periódusra vonatkozóan egyszerű trigonometriai átalakítások és integrálás után a következő kifejezéshez jutunk:

$$L = C_0 A_0 \pi \cos\left(\varepsilon - \frac{\pi}{2}\right) - \frac{1}{2} C_0 v_0 \int_0^2 \cos\left[2\omega t - \left(\varepsilon - \frac{\pi}{2}\right)\right] dt. \quad (19)$$

E binom első tagja nem zérus, a második azonban igen. A második tag emiatt meddő munkavégzésre utal, amely a betontól mindenképpen független. Így a gerjesztés munkáját két részre osztottuk, amelyek közül az egyik konkrét érték; a továbbiakban ezt fogjuk jellemző értéknek tekinteni. Ha $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ akkor egy rezonancia-állapotban fennálló maximumhoz jutunk. Az, hogy a maximum elvben rezonancia-állapothoz tartozó érték, itt nem játszik korlátozó szerepet. Ha a percenkénti rezgésszám $n \text{ min}^{-1}$, továbbá $1s$ alatt $n/60$ periódus van és a tömörítés időtartama t_0 , [7]-nek megfelelően, akkor a tömörítés során végzett munka maximuma

$$L_{\max} = C_0 A_0 \pi \frac{n}{60} t = \frac{C_0 v_0 t_0}{2} \text{ cmkp.} \quad (20)$$

Ezt az összefüggést minden függőleges tengelyállású és a vízszintes síkban ható gerjesztés munkavégzésének jellemzésére használhatjuk. Emiatt alkalmas a zsaluvibrátor és a rúdvibrátor minden üzemi esetének leírására is.

6. A dinamikai nyomás képletei az öt alaptípusban

A 4. és az 5. pontban leírt számítási elvek alapján a tömörítési munkát jellemző mérőszámokként az alábbi dinamikai nyomás-értékeket határozhatjuk meg.

6.1 A vibrátorasztalon szabadon felfekvő gyártósablon esetére

$$(p_d)_{szs} = \frac{\gamma v_0 t_0}{\beta - 1} \text{ kpcm}^{-2}, \quad (21)$$

ahol v_0 -t mint az egytömegűnek tekintett rezgőrendszer maximális sebességét vesszük számításba, t_0 a (7) szerint értelmezett tömörítési idő, γ a frissbeton térfogatsúlya.

6.2 A vibrátorasztalhoz mereven kapcsolt gyártósablon esetére

$$(p_d)_{ks} = 1,4 \cdot 10^{-5} \frac{\gamma n v_0^2 t_0}{\beta - 1} \text{ kpcm}^{-2}, \quad (22)$$

ahol n a percenkénti rezgésszám a (21)-nél írt paraméterek mellett.

6.3 A zsaluvibrátor üzemi eseteiben

$$(p_d)_{zsv} = \frac{C_0 v_0 t_0}{V_l(\beta - 1)} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (23)$$

6.4 A rúdvibrátor üzemére

$$(p_d)_{rv} = \frac{C_0 v_0 t_0 \beta}{V_l(\beta - 1)} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (24)$$

Ehhez azt jegyezzük meg, hogy itt célszerűbb a V_l laza betontérfogattal számolni, mert a rúdvibrátor etalonhelyzetében ehhez a rúdvibrátornak közvetlenül adott fejhossza rendelhető. A rúdvibrátor etalonhelyzetének azt tekintjük, amikor a tömörítőfejjel azonos vastagságú laza betonrétegbe merül, függőleges állásban.

6.5 A lapvibrátor esetére

$$(p_d)_{lv} = 6,97 \cdot 10^{-6} \frac{G_0 n v_0^2 t_0}{V_l(\beta - 1)} \text{ kpcm}^{-2}. \quad (25)$$

Ebben a kifejezésben G_{δ} a lapvibrátor teljes szerkezetsúlya, V_t a szerkezet rezgőlapja alatt tömörödő betontérfogat abban az etalonhelyzetnek számító állásban, amikor a lapvibrátort mindaddig nem mozdítjuk el a betonfelületen, amíg alatta a betonréteg végleges tömörségét el nem érte.

7. Egységes vibrációs tömörítéstechnikai elmélet

Ha arra gondolunk, hogy napjainkban csak hazánkban kb. egymillió $m^3/év$ a különböző vibrációs módszerekkel tömörített betonok mennyisége, akkor ez az egyetlen számadat is elegendő indokolás arra nézve, hogy a betontervezésnek az 1. pontban leírt elvében kiegészítő változtatást javasoljunk. E változtatás leglényegesebb mozzanata, hogy a döngölés helyett meghatározott paraméterekkel rendelkező laboratóriumi (etalon) vibrátorasztalt alkalmazunk a próbakockák tömörítőeszközeként.

E vibrátorasztal paramétereit illetően a kikötések egyszerűek: rezgésszáma $n_e = 3000 \text{ min}^{-1}$ legyen és alkalmas legyen egyszerre minimálisan három db kockasablon rögzítésére és egyidejű tömörítésére. A rezgésszámot a szabványos áramnemmél megvalósítható legegyszerűbb elektromos hajtás és az indokolja, hogy a gyakorlatban ennél kisebb rezgésszám a betonok tömörítésekor nem szokott előfordulni. Ha ebből kifolyólag a 3000 min^{-1} rezgésszámot alsó határértéknek foghatjuk fel, akkor ebből további előnyként fakad, hogy gyakorlati esetekben a rezgésszám vagy azonos az etalon rezgésszámmal, vagy *csak magasabb* annál. Amint látni fogjuk, a *mindig egyirányú* eltérés az etalon rezgésszámtól könnyebbé teszi némely paraméter előzetes felvételét az üzemviszonyok, vagy a tömörítőszervezetek tervezésekor.

A három kockasablon egyidejű rögzítésének lehetősége azzal függ össze, hogy a kockák roncsolása után rendelkezésre álló adatokat a matematikai statisztika törvényei szerint legyen lehetséges értékelni.

Az asztal egyéb mechanikai jellemzői ezután már nem elsődleges szerepűek és csak azért érdemes ezeket is etalon értékekben rögzíteni, hogy ne álljon fenn esetenként annak kényszere, hogy nehézkesen mérhető adatokból kell meghatározni. Ha ezek a paraméterek is etalon-értékek, akkor a laboratóriumi vibrátorasztal egytömögű rezgőrendszerként egyszerűen számítható.

A (21)–(25) képletekkel a beton tömörítésére fordított munkamennyiséggel arányos és azt jellemző számot tudunk számítani. Ezért a betontervezés befejezéseként egyszerűen számíthatjuk az optimális betonszilárdsághoz tartozó munkamennyiséget. Az etalon vibrátorasztal ezt a számítást teszi lényegesen egyszerűbbé.

Ha a próbakockák tömörítése során az etalon vibrátorasztalon mérjük a dinamikai nyomás képletében szereplő paramétereket, illetőleg azokat,

C = 350 kp/m ³		A vízcementtényező							
		0,3	0,34	0,38	0,42	0,48	0,52	0,56	0,6
D ₃₀	t ₀				csökkenő				
	H _t				növekvő				
	γ	csökkenően			közel állandó				
	β				csökkenő				
	P _d				csökkenő				
D ₂₀	t ₀								
	H _t								
	γ								
	β								
	P _d								

6. ábra. Adatlap a munkaigény jellemzésére; tervezési segédlet

amelyek a tömörítési munka jellemzéséhez a dinamikai nyomást számíthatóvá teszik, akkor a beton optimális szilárdságához tartozó munkamennyiséget meghatározhatjuk. Képleteink segítségével ez a munkamennyiség reprodukálhatóan állítható elő a különböző vibrációs tömörítési módok esetében. Nem szorul külön bizonyításra, hogy a 6. ábra szerinti táblázatok kitöltése elvileg nagyon egyszerű, miáltal rendelkezésünkre áll az anyagtulajdonságnak felfogható és a tömörítési munkát jellemző számértékek sora, mint az optimális betonszilárdsághoz rendelt etalon-érték. Ezzel a betontervezésből a gyakorlat számára fakadó előírások megkívánt betonminőségek elérése érdekében teljessé tehetők.

8. A tömörítőszervezetek tervezésének elve

Ha a dinamikai nyomás, a tömörödési tényező, a frissbeton térfogatsúlya, a kielégítő tömörség eléréséig eltelt t_0 idő mint értéknégyes-adat rendelkezésünkre áll, akkor rögzítettük a teljes reprodukálhatósághoz szükséges értékeket. Így módunk van a tömörítés folyamatát szabályozni, ami elsődlegesen azzal egyenértékű, hogy tömörítőszervezeteket előírt üzemviszonyokhoz tervezni tudunk. Vegyük ehhez önkényes példának a vibrátorasztalon szabadon felfekvő gyártószablon üzemi esetét.

Ha feltesszük, hogy az etalon értéknégyes ismert, akkor (21)-ből a

$$v_0 t_0 = B_1 \quad (27)$$

szorzat egyértelmű. Noha t_0 tagja az értéknégyesnek, első lépésben a tervezett szerkezettel elérhető szükséges időt az etalon-idővel nem vehetjük azonosnak. Ezért a következő lépés attól függ, mennyi időt szánhatunk a tervezett szerkezet üzemében az etalon-munkavégzéssel azonos hatás elérésére. Az etalon-idő erre legfeljebb tájékoztató adatnak tekinthető, mert ez az idő a valóságban jelentékenyen függ a betonelem geometriai méreteitől, s ezzel összefüggésben alakíthatóságától is. Minél nagyobb az elem, vagy minél tagoltabb, annál kevésbé lehet azt kikötni, hogy aránytalanul rövid idő alatt tömörítsük, ezért a tervezett szerkezet üzemében a tömörítési idő az etalon-időértéket lényegesen meg is haladhatja.

Egy sorozattermék-betonelem esetében a technológia tervezése során ismert a ciklusidő, amelyet a tömörítés műveleténél is minden mellékidővel együtt kell érteni. A tisztán a tömörítésre fordítható idő felvételét a ciklusidő jelentékenyen megkönnyítheti. Ekkor

$$v_0 = B_1/t_0 = B_2 \quad (27)$$

egyértelművé válik a további lépésekhez. Kiinduláskor mindig ismert a betonelem G_b súlya, ezzel együtt valamennyi geometriai mérete. G_b ismerete egyszerűvé teszi a gyártósablon súlyának felvételét, amennyiben ez is konkrétan nem állana már eleve rendelkezésre. Ugyanis a feltétlen alaktartás követelménye miatt kisebb elemek esetében a

$$G_b \leq G_s \leq 1,5 G_b, \quad (28)$$

nagyobb elemek esetében pedig az

$$1,5 G_b \leq G_s \leq 2 G_b \quad (29)$$

arány megfelelő támpontot nyújt erre. Az elem méretei azonnal eldöntik, hogy a vibrátorasztal egyetlen asztallappal oldható-e meg, vagy az asztallapot tagolni szükséges. Mindkét esetben kielégítő felvételt tesz lehetővé a

$$G_a = G_b + G_s \quad (30)$$

viszony, különösen amiatt, mert a gerjesztőművet eleve állíthatóra tervezzük, s az állítás lehetősége a súlyok felvételében mutatkozó bizonytalanságot a későbbiekben egyszerűen korrigálhatóvá teszi. Ezután tehát

$$G_{\bar{a}} = G_b + G_s + G_a \quad (31)$$

egyértelmű, amikor a G_a asztallap-súlyban a gerjesztőmű súlya is benne van.

Ezután a rezgésszám megválasztása következik. A legegyszerűbb aszinkron-motor hajtás a rezgésszámában megszabja az alsó, az egyszerű mechanikai áttételezés pedig a felső határt. A mechanikai áttételezés ugyanis vibrátorasztalok esetében különböző okoknál fogva reálisan nem lépheti át az 1 : 2 arányt. Ezért

$$3 \cdot 10^3 \leq n \leq 6 \cdot 10^3. \quad (32)$$

A választás e határokon belül ismét a szerkezet méreteitől és a ciklusidőtől függ, nem pedig attól a hiedelemtől, hogy a magasabb rezgésszám eleve jobb tömörítőhatást ad.

A méretek döntötték el, hogy egyetlen, vagy több asztallappal tudjuk-e a feladatot megoldani. Ez egyidejűleg eldöntötte a gerjesztőművek számát is. A gerjesztőművek száma megszabja a hajtás módját, ami a rezgésszám felvételére korrekciós lehetőséget nyújt.

Ezután rendre az (ω) szögsebesség, az egytömögűnek tekintett rendszer A_0 amplitúdója, majd a gerjesztés M kinetikai nyomatóka is egyértelmű. A kinetikai nyomatóka ismeretében még lehet határozni az állítási fokozatok számát, vagy — fokozatmentes állítási lehetőség birtokában — az eredő centrifugális erő felső határértékét. Akár lépcsős, akár fokozatmentes állítási lehetőségről van is szó, a centrifugális erő alsó határértéke $C_0 = 0$. A felső határérték mértékét az is befolyásolhatja, hogy az éppen mérlegelt betonelem a vibrátorasztalon készítenendő legnagyobb-e, vagy még nagyobb is számolni kell.

Következő lépésként egyszerűvé válik a rugóméretezés. A gyártástechnológia jellege szerint (konveyer, stand vagy agregát) engedhetünk meg ugyanis a terhelt vibrátorasztalon egy maximális statikus lesüllyedést. Konveyer rendszer esetében a statikus lesüllyedés maximuma 5 mm körül lehet, de a többi gyártási rendszerek esetében sem ajánlatos a statikus lesüllyedést túl nagy értékben (az 1 cm-t meghaladóan) megengedni, mert a tömörítőszervezet instabillá válik. A keményebb rugózást tehát még akkor is előnyben kell részesítenünk, ha emiatt masszívabb gépalapok kivitelezésére kényszerülnénk is. Így egyértelművé válik a (c_e) , eredő rugóállandó, majd ebből a vibrátorasztal méretei szerint a rugók száma és a rugók saját amplitúdója.

Ezzel valamennyi adat a rendelkezésünkre áll és kijelölhetjük a

$$(G_b)_a \leq G_b \leq (G_b)_f \quad (33)$$

betonsúlynak, továbbá a

$$\tau_a \leq t \leq \tau_f \quad (34)$$

időtartamnak, valamint a

$$(p_d)_a \leq p_d \leq (p_d)_f \quad (35)$$

dinamikai nyomásnak alsó és felső határait, amelyeken belül a szerkezettel

szabályozott folyamatokat valósíthatunk meg. Végül ellenőrizhetjük, hogy a súlyok felvétele nem szorul-e korrekcióra.

Befejezésképpen meghatározhatjuk a rezgéstorzulások mértékét, a szabadon felfekvő gyártósablonra vonatkozóan, szemben az asztal gerjesztett harmonikus rezgéseivel.

Analóg módon lehet a szükséges adatokat a rögzített gyártósablon esete is meghatározni.

Szám példa

Legyen adott a következő etalon értéknégyes: $t_0 = 85\text{s}$, $\beta = 1,35$, $\gamma = 2,45 \cdot 10^{-3}$ kpcm^{-3} , $p_d = 1,71 \cdot 10$ kpcm^{-2} .

Legyen feladat készíteni konveyer rendszerű gyártástechnológiában $25 \cdot 80 \cdot 200$ cm^3 burkolóméretű vasbetonelemet, azzal a betonnal, amelyre az adott etalon-négyes vonatkozik. A termelendő mennyiségből számíthatóan legyen az elem gyártási ciklusideje 600 s. Ebben az időtartamban a tömörítési műveletnek minden segédtevékenységével együtt kell beleférnie. Határozzuk meg a szükséges vibrátorasztal minden fontos paraméterét és az üzemi viszonyokat jellemző értékeket azzal a feltételezéssel, hogy a gyártósablon szabadon felfekvő.

Az elem térfogata

$$V_t = 2,5 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^2 = 4 \cdot 10^5 \text{ cm}^3.$$

Az elem súlya

$$G_b = V_t \cdot \gamma = 4 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-3} = 9,4 \cdot 10^2 \text{ kp.}$$

Az elem méreteiből fakad, hogy a vibrátorasztal egyetlen összefüggő asztallapból állhat. Legyen az asztalsúly az ismertett arányoknak megfelelően

$$G_a = 1,5 \quad G_b = 1,41 \cdot 10^3 \text{ kp,}$$

a sablonsúly pedig

$$G_s = 1,5 \quad G_b = 1,41 \cdot 10^3 \text{ kp,}$$

ennélfogva a gerjesztendő összes súly

$$G_\sigma = 3760 \sim 3800 \text{ kp.}$$

Mivel a gyártósablon szabadon felfekvő, emiatt (21) és (26) alapján

$$\frac{p_d(\beta - 1)}{\gamma} = v_0 t_0$$

gyértelmű szorzat, vagyis

$$B_1 = \frac{1,71 \cdot 10 \cdot 3,5 \cdot 10^{-1}}{2,35 \cdot 10^{-3}} = v_0 t_0 = 2,55 \cdot 10^3.$$

Az adott elem nagyságrendjében a sablonmozgatás és a betonbetöltés legalább 2–2,5 percet vesz igénybe, ezért a tömörítés tényleges idejére úgy vesszünk fel $t_0 = 300$ s-ot, hogy ismételt számítással korrekciós lehetőségünk van arra az esetre, ha ez az idő túlzottan hosszúnak bizonyulna (a szerkezet mértéken alul kicsinek adódnék). Tehát B_1 alapján

$$B_2 = v_0 = \frac{2,55 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = 8,5 \text{ cms}^{-1}.$$

Ez a lépéssorozatban a második egyértelmű érték. Mivel az adott esetben az egyszerű a szinkron motorhajtás mechanikai áttételezése még különösebb nehézség nélkül megoldható, válasszuk az $n = 4,5 \cdot 10^3 \text{ min}^{-1}$ rezgésszámot. Ezt ékszjártárcsával még megvalósíthatjuk a 3000 min^{-1}

szinkron fordulatszámú aszinkron motorról. Emiatt

$$\omega = \frac{4,5 \cdot 10^3}{9,55} = 4,72 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1}.$$

Ezzel

$$B_3 = A_0 = v_0/\omega = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$$

és most már

$$M = A_0 G_0 = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot 3,8 \cdot 10^3 = 6,85 \cdot 10 \text{ cmkp.}$$

Ez adat alapján a gerjesztőmű minden adata tervezhető, ennek részleteivel most nem foglalkozunk. Feltesszük azonban, hogy fokozatmentes állítást valósítunk meg, mert az adott esetben ennek nincsen semmilyen akadálya. Az eredő centrifugális erő

$$C_0 = \frac{6,8 \cdot 10 \cdot 2,22 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 10^2} = 1,55 \cdot 10^4 \text{ kp.}$$

Ez az érték egyrészt arra figyelmeztet, hogy az időt helyesen választottuk (ellenkező esetben élnünk kellene a korrekcióval), másrészt, hogy a gerjesztőművet osztottan kell kialakítanunk.

Mivel a technológia konveyer rendszerű, az asztal rugózatának statikus lesüllyedésére a terhelés alatt csak viszonylag kis értékeket engedhetünk meg. Legyen ez a statikus lesüllyedés $f = 7 \cdot 10^{-1} \text{ cm}$. Ebben az esetben az asztal rugózatának eredő rugóállandója

$$c_e = \frac{7 \cdot 10^{-1}}{1,55 \cdot 10^4} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ cmkp}^{-1}.$$

Ez az asztal — méreteinél fogva — lehetővé teszi nyolc db rugó elhelyezését a szerkezetben. Emiatt egy-egy rugó állandója

$$c_1 = 8 c_e = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ cmkp}^{-1}.$$

A rugózat ennek alapján minden további részletében egyértelmű.

Ha az elem az asztalon gyártani szándékozott legnagyobb, akkor C_0 most kiszámított értéke az állítási fokozatok maximuma, ellenkező esetben csak egy az állítási fokozatok közül. Ha az asztalsúly és a sablonsúly a részletes szerkesztés során a felvett értékektől eltérne, a korrekció lehetősége egyszerű.

Az az időpillanat, amikor a dinamikai nyomás számértéke várhatóan azonos a tömörített tér feszültségállapotával, illetve ennek számértékével, a következő:

$$t^0 = \frac{C_0(\beta - 1)}{\gamma F v_0} = \frac{1,55 \cdot 10^4 \cdot 3,5 \cdot 10^{-1}}{2,35 \cdot 10^{-3} \cdot 2,10^2 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 8,5} = 1,7 \cdot 10 \text{ s}$$

ezért az abszolút nyomás várható értéke a sablonban

$$p_a = \frac{2,35 \cdot 10^{-3} \cdot 8,5 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 10}{3,5 \cdot 10^{-1}} = 9,7 \cdot 10^{-1} \text{ kpc}^{-2}.$$

Ez a nyomás nem arányos a tömörítési idővel, hanem gyakorlatilag változatlan.

9. Adott szerkezet_üzemviszonyainak meghatározása

Legyen adva tetszőleges rúdvrátró, mint gyári sorozattermék. Emiatt ismert és adott C_0 , M , n , ω , a rúdvrátró tömörítőfejének H hossza és R_1 , a fej sugara. Legyen adva a továbbiakban a betonra vonatkozó etalon érték-négyes (esetleg: ötos), mint az optimális betonszilárdsághoz rendelt értékek. Ekkor (24)-ből

$$\frac{p_d(\beta - 1) H \pi}{C_0 \beta} = \frac{v_0 t}{R_2^2} = B_1 \quad (36)$$

egyértelmű. Ha R_2 -vel a fej hatósugarát jelöljük az adott betonban, akkor innen

$$\frac{A_0 t}{R_2^2} = \frac{B_1}{\omega} = B_2 \quad (37)$$

további egyértelmű összefüggés. Ebben az idő megválasztása során figyelembe vehetjük, hogy ha a rúdvrátör rezgésszáma az etalon rezgésszámtól eltér (s ha az etalon rezgésszám 3000 min^{-1} , akkor mindig csak *felfelé* térhet el tőle), t -t ennek megfelelően vehetjük rövidebbre az első felvételnél. Ezután tehát

$$\frac{A_0}{R_2^2} = \frac{B_2}{t} = B_3 \quad (38)$$

egyértelmű. Mivel az amplitúdót a kinetikai nyomaték és az összes gerjesztett betonsúly (amelyet itt a tömörítőfejjel együttrezgő merev testként fogunk fel) meghatározza, azért

$$\frac{M}{R_2^2 G_\delta} = B_3, \text{ ill. } R_2^2 G_\delta = B_4.$$

És mivel

$$G_\delta = R_2^2 \pi H \gamma,$$

tehát végül

$$R_2 = + \sqrt{B_5} \quad (39)$$

Ez azt jelenti, hogy az így meghatározott R_2 hatósugáron belül az etalon p_d érték feltétlenül biztosított. Ha R_2 aránytalanul kicsinek adódik, akkor t_0 felvételének korrigálásával kell a számítást megismételni.

IRODALOM

1. CSUTOR J.: A beton tömörítése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967
2. TÓTH F.: Építőelemek sorozatgyártása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1962
3. PALOTÁS L.: Építőanyagok I–II. Akadémiai Kiadó, Budapest 1962
4. ÚJHELYI–ARMUTH: A beton, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967

A Unified Theory for Controlling the Methods of Densening Concrete by Vibration. The theories of concrete densening published so far have neglected the fact that the densening of concrete is an application of work. The paper deduces for the methods of densening — which can be grouped into five categories — formulae which measure the dynamic action reaching the concrete, notwithstanding that their dimension is that of pressure. Knowing these formulae, the concrete specimen can be densened by vibration on a standard vibration table instead of by the standardized tamping specified up to now. The expended work can be determined numerically by the formulae. The best densening work is that which results in maximum concrete strength. The amount of energy needed for this can be considered as a characteristic of the material, and if this has already been determined for some method of densening, the formulae of the author show what degree of densening is needed with other methods of densening, no new tests being required.

Eine einheitliche Theorie für die Regelung der Betonverdichtung durch Vibration. Die für die Charakterisierung des Betonverdichtungsvorganges bisher veröffentlichten Theorien haben außer Acht gelassen, daß die Betonverdichtung Arbeitsleistung ist. Der Verfasser leitet für jede der in fünf Kategorien gruppierten Verdichtungsverfahren derartige, die Arbeitsleistung messende Formeln ab, welche die dynamischen Einwirkungen auf den Beton messen, obwohl diese Formeln die Dimension von Drücken haben. Im Besitz der Formeln wird es möglich, die Betonprobekörper an Stelle des bisherigen genormten Stampfens auf einem Normal-Rütteltisch zu verdichten. Die beste Verdichtungsarbeit ist diejenige, welche die größte Betonfestigkeit erzielt, die hierzu nötige Menge von Arbeit kann als Werkstoffeigenschaft aufgefaßt werden, und wenn diese für irgendeine Verdichtungsmethode bereits festgestellt worden ist, so kann mit den publizierten Formeln — ohne neue Versuche — angegeben werden, eine wie starke Verdichtung bei sonstigen Verdichtungsverfahren anzuwenden ist.