

RA^UNALNI[KO DIMENZIONIRANJE BETONA Z DOLO^ENO PROSTORNINSKO MASO

COMPUTERIZED PROPORTIONING OF CONCRETE MIXES WITH FIXED UNIT WEIGHTS

RUDI ^OP

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Pot pomor{-akov 4, 6320 Portoro{

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Ugotavljanje prostorninske mase agregata in me{anic s pre{anjem je najto-nej{i na-in ocene pri razli-nih modulih stisljivosti. To omogo-a posredno merjenje prostorninske mase zrelega betona. Ta metoda je bila izbrana kot izhodi{-na pri preu-evanju lastnosti betonskih me{anic. Rezultat te raziskave je bila izdelava uporabni{kega ra-unalni{kega programa za dolo-evanje betonskih me{anic za izdelavo posebnih betonov z dolo-eno prostorninsko maso.

Klju-ne besede: posebni beton, ra-unalni{ko dimenzioniranje, metoda z upo{tevanjem modula stisljivosti

The most precise method of evaluation at aggregates with different compressing modules can be achieved by defining the volume of individual aggregates. The cubic contents of hardened concretes can thus be measured indirectly. This method was chosen as starting point for the investigation of characteristics of different concrete mixtures. The investigation yielded a computer software for determining concrete mixtures in producing special concretes with fixed unit weights.

Key words: special concrete, mix design with computer, method with included compacting factor

1 UVOD

Za dimenzioniranje posebnih vrst betona z dolo-eno prostorninsko maso smo razvili ra-unalni{ki program Mix.Exe. Slednji je rezultat razvojnega dela v preteklih petih letih. Program nam rabi kot orodje za dimenzioniranje posebnih vrst betona iz umetnih agregatov, pri katerih zrna praviloma ne presegajo premera 10 mm (te' ke malte).

Merjenje prostorninske mase v stisnjem stanju smo izbrali kot izhodi{-no meritev za preu-evanje lastnosti sestavin pri posebnih vrstah betona z dolo-eno prostorninsko maso in za sestavljanje receptov za njihovo izdelavo^{1,2}.

2 MERJENJE PROSTORNINSKE MASE V STISNJEM STANJU

Ugotavljanje prostorninske mase surovin za izdelavo betona so osnovne meritve za cement in vse agregate, ki sestavljajo posebni beton. Ponavljamo jih ob preverjanju lastnosti 'e uporabljenih sestavin, ali ko prispe nova po{iljka cementa ali agregatov. Na osnovi rezultatov meritev in njihove obdelave smo opredelili uporabno ena-bo stisljivosti.

Meritve suhih me{anic posebnih vrst betona iz proizvodnje po znani recepturi in znani prostorninski masi zrelega betona so primerjalne. Opravljene so bile v -asu izhodi{-nih raziskav, pa tudi pri kasnej{i preverjanjih rezultatov. Z njimi smo ugotavili izkustvene faktorje, ki nakazujejo razmerja med prostorninsko maso zrelega betona in vsoto prispevkov prostorninskih mas, ki jih dajejo sestavine me{anic. Na omenjene faktorje vplivajo

poleg velikosti zrn agregatov {e njihova oblika, dodatki, dose'en v/c faktor med pripravo betona, na-in vgrajevanja sve'ega betona in vrsta kalupa.

Na osnovi merilnih rezultatov in oblike pripadajo-ih krivulj je odvisnost prostorninske mase v stisnjem stanju od tlaka podana z izrazom:

$$M_{vz} \text{ (kg/dm}^3\text{)} = A \cdot p^B \text{ (MPa);} \quad (a)$$

A, B ... parametra regresije

Regresijska funkcija (a) ima naslednjo logaritemsko obliko:

$$\ln M_{vz} = \ln A + B \cdot \ln p. \quad (b)$$

Logaritemska oblika regresijske funkcije (b) omogo-a izra-un parametrov A in B nelinearne regresije (a) z linearno.

Odvisnost med izmerjenimi rezultati in njihovo srednjo vrednostjo podaja regresijski ali korelacijski koeficient $R^{3,4}$. ^im bolj se ta koeficient pribli'a vrednosti $R = 1$, tem bolj se linearna regresija pribli'a izmerjenim vrednostim. Rezultat linearne regresije je naslednji:

$$\ln M_{vz} \approx \ln A + B \cdot \ln p \pm SD,$$

ki dobi po antilogaritmiranju obliko

$$M_{vz} \approx A \cdot p^B \cdot \exp(\pm 6SD).$$

Ker je standardna napaka SD majhna, velja pribli'ek:

$$\exp(\pm 6SD) \approx 1 \pm 6SD.$$

Standardno napako SD zato lahko predstavimo kot relativno napako regresijskega modela.

Koeficient stisljivosti χ oziroma modul stisljivosti κ sta definirana z naslednjo ena-bo:

$$\chi = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{M_{vz}} \frac{dM_{vz}}{dp} \frac{d}{dp} (\ln M_{vz}) \quad (c)$$

Na osnovi ena-b (a) ali (b) in (c) sledi:

$$\text{koeficient stisljivosti: } \chi = \frac{B}{p} \quad (d)$$

$$\text{modul stisljivosti: } \kappa = \frac{p}{B}. \quad (e)$$

3 GRANULOMETRI^NE MERITVE

Pri granulometri-nih meritvah z uporabo sit ugotavljamo velikost zrn posameznega agregata. Na osnovi teh ugotovitev lahko nato dolo-imo velikost zrn me{anice iz teh agregatov. Dose-i moramo tako zrnatost me{anice, da je prazen prostor v kalupu najboljše zapolnjen in da se zrna med seboj dobro prilagodijo. Vse to je potrebno zaradi ve-je mehanske trdnosti zrelega betona.

Granulometri-ne meritve smo izvedli po italijanskem standardu UNI 2333/34. V skladu z izbirnimi mo' nostmi tega standarda so bila izbrana sita z okroglimi odprtini. Najve-ja odprtina sita je bila D = 10,0 mm, druge pa so bile: d=7,1 mm, 5,0 mm in 1,00 mm. Koli-ine drobnej{ih frakcij smo dolo-ili z mre' astimi siti z odprtini premera 2,800, 1,000, 0,600, 0,300, 0.150 in 0,075 mm. ^e uporabimo sita druga-nih premerov ali po drugem standardu, moramo to upo{tevat tudi v pro-

gramu oziroma moramo popraviti vrednosti pripadajo-ih spremenljivk.

Potrebno je presejati vsaj dva agregatna vzorca, pripravljena po predpisu ustreznega standarda. Na osnovi velikosti presejanega agregatnega vzorca in ostankov na sitih izra-unamo odstotek prehodnosti agregata skozi posamezno sito in odstotek ostanka na njem. Ti podatki nam rabijo za izdelavo granulometri-ne krivulje betonske me{anice.

Po predlogu iz literature¹ mora granulometri-na krivulja posamezne betonske me{anice le'ati med krivuljama, ki sta dolo-eni z ena-bama: $P' = 100\sqrt{d/D}$ (Fuller) in $P = 50(d/D + \sqrt{d/D})$ (standard EMPA). Praksa je pokazala, da je s tem zagotovljena najbolj{a vgradljivost sve'ega betona in njegova trdnost po kon-anem zorenju.

Pri izdelavi posebnih vrst betona dolo-ene prostorninske mase je dobra granulometri-na krivulja te'ko dosegljiva, ker nimamo na razpolago cenениh agregatov visoke prostorninske mase in primerne zrnatosti. Abrams je s poizkusi dokazal, da za izdelavo optimalne me{anice ni nujno potrebno slediti idealnim krivuljam, marve- da zado{-a 'e ustrezni modul zrnatosti betonske me{anice, ki le'i med moduloma idealnih krivulj po omenjenem predlogu iz literature (slika 3).

4 RA^UNALNI[KO PROJEKTIRANJE ME[ANIC BETONA Z DOLO^ENO PROSTORNINSKO MASO

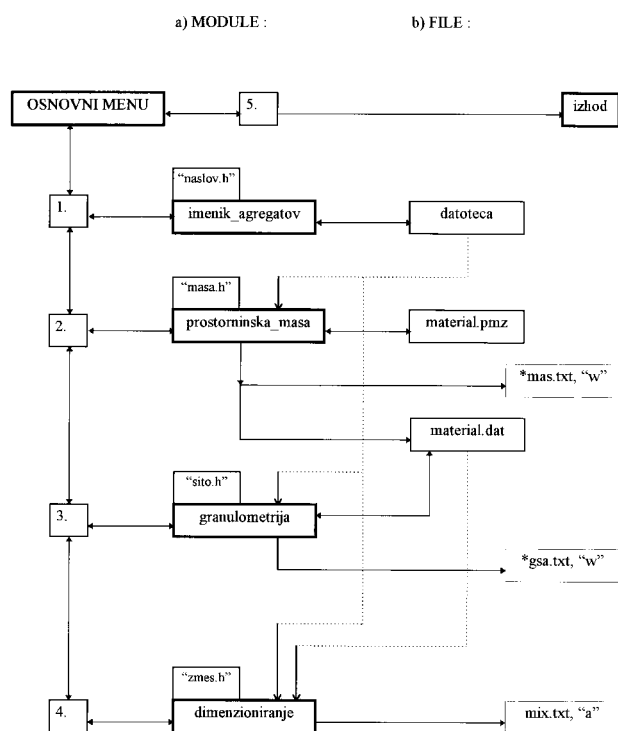
Ra-unalni{ki program za dimenzioniranje me{anic posebnih vrst betona dolo-ene prostorninske mase Mix.Exe te-e v za-etku znano, da je uresni-ljiv le postopoma. Posamezni enostavni programi so bili zdru'eni v ve-opravlne programe, ki so nato pre{li v module kon-nega programa Mix.Exe (slika 1).

Program Mix.Exe je bil na-rtovan kot projekt, za katerega je bilo 'e v za-etku znano, da je uresni-ljiv le postopoma. Posamezni enostavni programi so bili zdru'eni v ve-opravlne programe, ki so nato pre{li v module kon-nega programa Mix.Exe (slika 1).

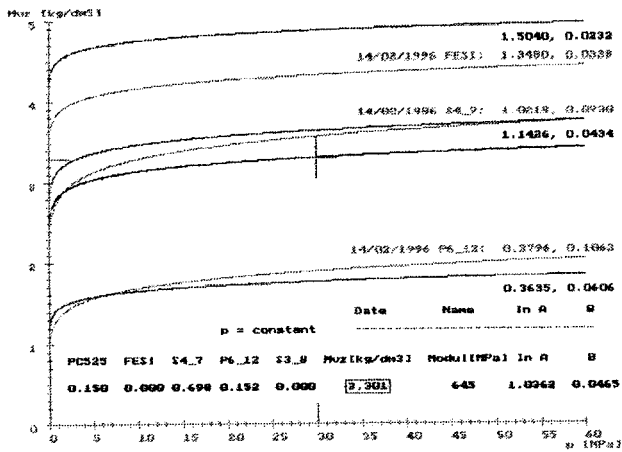
Program za vnos specifi-nih oznak posameznih agregatov je skupni program, ki izpisuje te oznake na datoteko "Datoteca". Oznake agregatov (Material) so sestavljene po pravilu za imena programov, ki te-ejo v operacijskem sistemu DOS. Zato imajo najve- 8 alfanumeri-nih znakov.

Oznake agregatov lahko rabijo kot predlog za uporabljene oznake v dveh programih: pri vpisu meritev prostorninske mase v stisnjenem stanju in rezultatov granulometri-nih meritev posamezne sestavine betonske me{anice. Pri dolo-evanju me{anice za izdelavo te'kega betona upo{teva ustrezni program oznake agregatov po naslednjem vrstnem redu:

- cement, ki se ga v me{anico dodaja 'e vnaprej dolo-enih odstotkih
- prvi umetni agregat - te'ji



Slika 1: Zgradba programa Mix.Exe Ver.2.6/09'96
Figure 1: The structure of the program Mix.Exe Ver.2.6/09'96



Slika 2: Izra-una me{anice posebnega betona dolo-ene prostorninske mase

Figure 2: The calculation of the proportion of the concrete to the fixed unit weight

- drugi umetni agregat - la'ji
- me{anica peska in
- tretji agregat, ki se ga v me{anico dodajajo 'e v naprej dolo-enih odstotkih.

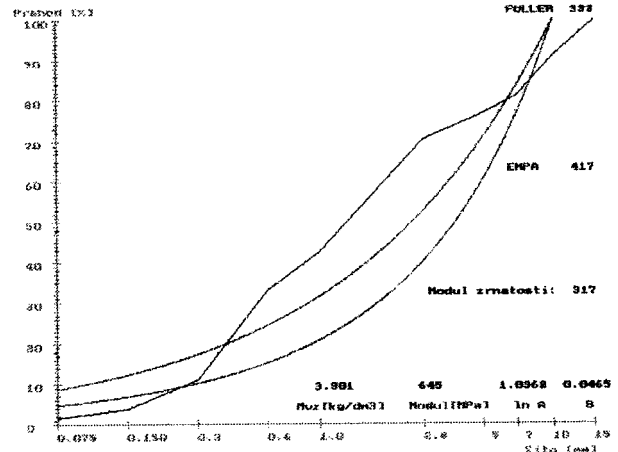
Program za vnos merilnih rezultatov za prostorninske mase agregatov v stisnjenem stanju je bil napisan najprej. Te podatke ra-unalni{ki program obdela, tako da poda prostorninske mase agregata pri posameznih pritiskih in odgovarjajo-ih modulih stisljivosti. Vsi ti rezultati se izpisujejo na tri datoteke.

a) V datoteki "MaterialMas.Txt" so zbrani vsi podatki meritev in ra-unalni{ki rezultati za prostorninske mase agregata v zbitem stanju pri posameznih pritiskih. Ta datoteka rabi za nadaljnji vnos podatkov v druge ra-unalni{ke programe, ki jih vklju-ujejo v poro-ila ali nadalje obdelujejo.

b) Datoteke "Material.Pmz" rabijo za vpis vseh izmerjenih in izra-unanih podatkov. Te lahko naknadno pregledamo, po potrebi tudi popravimo, ali tudi grafi-no in statisti-no obdelujemo z drugimi ra-unalni{kimi programi (npr. Origin ali Exel).

c) Datoteke "Material.Dat" so skupne. V njih so poleg podatkov o oznakah in datumu vpisa ter ena-b agregatove prostorninske mase v stisnjenem stanju podani {e rezultati standardnih meritev sejanja. Te datoteke rabijo za kon-no dimenzioniranje me{anic posebnih vrst betona dolo-ene prostorninske mase.

Program za vnos rezultatov, ki jih dobimo pri sejanju agregatnih vzorcev skozi standardna sita, le-te tudi obdela. Vpi{e procent prehodnosti agregata skozi standardna sita v skupne datoteke "Material.Dat". Iz teh datotek prepisuje granulometri-ne podatke za posamezni me{alni vzorec betona. Prepis je namenjen nadaljnjemu pregledu in dopolnjevanju. Program izpi{e popolno tabelo setve z rezultati izra-unov v datoteki "MaterialGsa.Txt". Ta datoteka rabi za nadaljnji vnos teh podatkov v poljubne



Slika 3: Sejalna krivulja me{anice posebnega betona

Figure 3: The grading curve of the special concrete mixture

druge programe, kjer jih lahko vklju-i v poro-ila ali nadalje obdeluje.

Glavni program za dolo-evanje betonskih me{anic predpi{e me{anico na osnovi sestavinskih imen iz datoteke "Datoteca" in iz skupnih osnovnih podatkov, ki so bili predhodno vneseni v datoteke "Material.Dat". V njej so rezultati meritev prostorninske mase sestavin v stisnjenem stanju za posamezno sestavino te'kega betona in njihove granulometri-ne lastnosti. Iz teh podatkov izra-una program mejne vrednosti in potrebno koli-ino posameznega agregata za me{anico te'kega betona, za katero 'elimo dose-i predpisano prostorninsko maso v zrelem stanju.

Za kon-ni izpis recepture posamezne me{anice te'kega betona v datoteko "Mix.Txt" zahteva program v obliki dialoga {e njen opis oziroma naziv, ki ga lahko izpustimo. Slednji- je potrebno dolo-iti procent cementa in tretjega agregata v me{anici. Po izra-unu potrebnih mejnih vrednosti dolo-i program {e referen-no me{anico te'kega betona s prostorninsko maso 3,4 kg/dm³ (slika 2).

Referen-na me{anica rabi kot izhodi{-e za spreminjanje lastnosti me{anice za te'ki beton, ki ga pripravimo iz izbranih oziroma razpolo'ljivih agregatov. Sestavo sve'ega betona ali vgradni na-in lahko spreminjamo, pri -emer nastopajo naslednje mo'nosti:

a) na-ina vgrajevanja in vrste kalupa ne spreminjamo, spreminjamo pa potrebno prostorninsko maso zrelega betona in s tem sestavino me{anice

b) ohranjamo sestavo me{anice in spreminjamo na-in vgrajevanja in vrsto kalupa, izra'eno z modulom stisljivosti κ (MPa), pri tem se spreminja prostorninska masa zrelega betona

c) na-ina vgrajevanja in vrste kalupa ne spreminjamo, spreminjamo pa potrebno prostorninsko maso zrelega betona in s tem sestavino me{anice.

Kon-ni izbiri me{anice za izdelavo te'kega betona sledi avtomati-ni izris granulometri-ne krivulje in izra-un modula zrnatosti (**slika 3**). Recept za izbrano betonsko me{anico lahko shranimo na datoteko "Mix.Txt".

Posamezni programi oziroma moduli so povezani z izhodi{-nim programom. Iz njega izstopamo tako, da izberemo ustrezno {tevilko modula. Iz modulov pa se v izhodi{-ni program vrnemo potem, ko izvr{imo vse funkcije ali pa z ukazom <Ctrl><P>.

Iz izhodi{-nega programa lahko izstopimo z izbiro kon-ne {tevilke ali pa z ukazom <Ctrl><P>.

5 SKLEP

Velja le v primeru, -e ne bo za'ivel v praksi, da je ra-unalni{ki program Mix.Exe brez napak in dokon-en. Za-etni poskusi uporabe so obetavni, vendar je to le eden od korakov k dokon-ni obliki programa, ki naj bi zadovoljil izdelovalce posebnih vrst betona z dolo-eno prostorninsko maso.

Dokon-ati bo potrebno raziskave o lastnostih beton-skih me{anic⁵. Zaradi velike to-nosti, ki jo je mo'no

dosegati po predlaganem algoritmu, bo potrebno upo{tevatiti tudi dodatke za dodajanje med pripravo sve'ega betona. Z omenjenimi ustreznimi popravki bi se program {e bolj pribli'al svoji optimalni obliki.

Prakti-ne izku{nje z vgrajevanjem sve'ega betona v posamezne oblike kalupov in ugotavljanje odgovar-jajo-ega modula stisljivosti κ (MPa) bodo brez dvoma prispevale k izbolj{anju programa Mix.Exe za di-menzioniranje posebnih vrst betona dolo-ene prostornin-ske mase.

6 LITERATURA

¹V. Mar-elja: *Beton i komponente*, Tehni-ka knjiga Zagreb, Zagreb, 1982

²P. Kumar Mehta: *CONCRETE Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986

³I. Vidav: *Vifja matematika 2*, Dr'avna zalo'ba Slovenije, Ljubljana 1975

⁴R. Jamnik: *Matemati-na statistika*, Dr'avna zalo'ba Slovenije, Ljubljana, 1980

⁵D. C. Montgomery: *Design and Analysis of Experiments*, 2nd ed., John Wiley, New Yourk, 1984