

TUŠTYMĖTŪJŲ PERDANGOS PLOKŠČIŲ BETONO SUDĖTIES  
MODIFIKAVIMASVitoldas Vaitkevičius<sup>1</sup>, Ernestas Ivanauskas<sup>2</sup>, Arminas Štuopys<sup>3</sup>, Mindaugas Daukšys<sup>4</sup>*Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva**El. paštas: <sup>1</sup>vitoldas.vaitkevicius@ktu.lt, <sup>2</sup>ernestas.Ivanauskas@ktu.lt,**<sup>3</sup>arminas.stuopys@ktu.lt, <sup>4</sup>mindaugas.dauksys@ktu.lt**Įteikta 2009 04 20; priimta 2009 04 28*

**Santrauka.** Straipsnyje aptariami ekstruziniu būdu formuojamų gelžbetoninių gaminių (tuštymėtųjų plokščių) betono sudėties parinkimo ir modifikavimo klausimai, susiję su formavimo įrangą tausojančio darbo režimo taikymu (didelių energinių sąnaudų nereikalaujančiu betono mišinio sutankinimu, tuo pat metu išlaikant ekstruziniam formavimui būtiną mišinio koheziją) ir optimalios betono struktūros gavimo aspektais. Laboratoriniais tyrimais ir gamybiniais bandymais bei pagal specialią metodiką išpjautų betono kernų savybių tyrimais įrodyta, kad tinkamai modifikavus ekstruzinio betono sudėtį, įmanoma išlaikyti visus šiems gelžbetoniniams gaminiams reikalaujamus betono parametrus: betono mišinio standumo (Vebe) klasę V2, betono gniuždomojo stiprio klases C40/50 ir C50/60, esant mažam V/C ir taupiai naudojant portlandcementį (330–360 kg/m<sup>3</sup>). Be to, gaunama tanki ir vienodai sutankinta betono struktūra. Toks modifikavimas susijęs su stambųjų ir smulkiųjų betono užpildų santykio parinkimu ir plastiklių (superplastiklių) naudojimu mišinyje. Įrodyta, kad nedidelio kiekio orą įtraukiančių įmaišų naudojimas standžiame betono mišinyje leidžia formuoti konstrukcijas, kurios gali būti eksploatuojamos agresyvesnėmis aplinkos poveikio sąlygomis (pvz., XD3 ir XF2).

**Reikšminiai žodžiai:** ekstruderis, tuštymėtjosios plokštės, Vebe konsistencija, betono mišinys, V/C santykis, plastiklis, betono kernai, poros.

## 1. Įvadas

Straipsnyje aptariami ekstruziniu būdu formuojamų gelžbetoninių gaminių betono sudėties parinkimo ir modifikavimo klausimai, daugiausia dėmesio skiriant betono struktūros (mišinio sutankinamumo) aspektams. Taip pat stengiamasi gauti didžiausią mišinio rišlumą ir ankstyvąją struktūrinę stiprį (arba gebėjimą iki pusgaminyje hidratuoto portlandcementinio rišimosi ir kietėjimo suintensyvėjimo momento išlaikyti ekstruzinio formavimo metu suteiktą formą).

Esminis ekstruzinės gelžbetoninių gaminių gamybos technologijos bruožas – nenutrūkstamas pasirinkto dirbinio armavimas didelio stiprio lynais (viela) ir vėliau sekąs formavimo procesas iš standaus betono mišinio visu stendo ilgiu, paskui pusgaminių kietinant ir pjaustant į pasirinkto ilgio fragmentus (gaminus) (Voigt *et al.* 2006; Degou, Lu 1988; Elematic Oy

Ab 2005). Šiuo metu mūsų šalyje ir užsienyje tokia technologija dominuoja denginio ir perdangos plokščių, kitų plokščiųjų pailgos formos gelžbetoninių dirbinių gamyboje, plečiasi įvairių techninių parametru ekstrudierių ir kitos šiai technologijai būtinos įrangos pasiūla (Degou, Lu 1988; Elematic Oy Ab 2005; Stevens 1985). Naujos kartos gelžbetoninių dirbinių gamybos technologinės linijos automatizuotos, jose realizuota daug naujų principų, o ekstrudierių ir kitos įrangos darbo parametrai yra gerokai intensyvesni nei anksčiau naudotose konvejerinėse ar srautinėse tokios paskirties dirbinių gamybos linijose. Todėl net ir patyrę technologai, gamybos meistrai, dirbantys su naujausios kartos ekstruderiais, yra priversti mokytis, naujai įvertinti savo žinias. Deja, kaip rodo patirtis, nežinodami visų naujosios įrangos galimybių, skubėdami tenkinti rinkos poreikius ar tiesiog vengdami eksperimentuoti

dėl konservatyvių nuostatų, gal jausdami pareigą „taupyti“, jie akylai pasikliauja įrangos gamintojų pateiktomis ir tik rekomendacinių pobūdį turinčiomis betono mišinio sudėtimis ar jų parinkimo principais.

Šio darbo tikslas – nustatyti, kaip gauti lengviau nei iki šiol ekstruderiu formuojamą betono mišinį, kuris leistų išlaikyti visus reikalaujamas betono parametrus: betono mišinio standumo (Vebe) klasę V2 (LST EN 12350-3:2003), betono stiprio klases C40/50 ir C50/60. Laboratorijoje buvo išbandytos ekstruziniam formavimui skirtos betono sudėty, konstrukcijas iš kurio būtų galima eksploatuoti agresyvesnėmis aplinkos poveikio sąlygomis (pavyzdžiui, XD3 ir XF2). Visos ekstruderyje formuojamo betono sudėty atitinka joms keliamus reikalavimus pagal reglamentuojamą mažiausią cemento kiekį bei vandens ir cemento santykį V/C ( $C > 320 \text{ kg/m}^3$ ,  $V/C < 0,45$ ) (Shah 1996; Knapton 2003; LST EN 1168:2005).

## 2. Tyrimams naudotos medžiagos ir tyrimo metodika

Tyrimuose ir gamybiniuose bandymuose naudotas portlandcementis CEM I 42,5R, pagamintas koncerne „Grupa Ożarów“ (Lenkija) ir AB „Akmenės cementas“. Naudotų cementų savitasis paviršius  $360\text{--}378 \text{ m}^2/\text{kg}$ , normalaus tirštumo tešla  $24,6\text{--}26,3 \%$ , rišimosi pradžia  $105\text{--}124 \text{ min.}$ , stipris gniuždant (aktyvumas)  $24,0\text{--}29,1 \text{ MPa}$  (po 2 parų) ir  $50,0\text{--}54,3 \text{ MPa}$  (po 28 parų). Šios savybės nustatytos pagal standartą LST EN 197-1.

Smulkiųjų užpildų turinčiuose betonuose naudotas organinių priemaišų neturintis Rizgonių karjero smėlis (0/4 mm frakcija, vidutinis dalelių tankis –  $2610 \text{ kg/m}^3$ , piltinis tankis –  $1610 \text{ kg/m}^3$ , tuštumingumas –  $39,1 \%$ , smulkiųjų kiekis  $< 3 \%$  ( $f_{3,0}$ )) ir Suvalkų regione iškasas smėlis (0/2 mm frakcija, vidutinis dalelių tankis –  $2640 \text{ kg/m}^3$ , piltinis tankis –  $1620 \text{ kg/m}^3$ , smulkiųjų kiekis  $< 1,5 \%$  ( $f_{1,5}$ )). Smėlio 0/1 mm frakcija gauta atitinkamu sietu prasijojus 0/4 mm frakcijos Rizgonių karjero smėlį. Lietuvoje iškastame smėlyje buvo iki  $0,7 \%$  su šarmais reaguojančių dalelių, o lenkiškame smėlyje jų neaptikta.

Stambiuoju užpildu pasiūlytose ir laboratorijoje bei gamybinėmis sąlygomis išbandytose sudėtyse buvo 2/8 mm frakcijos žvirgždas ir 2/8 mm, 8/11 mm, 4/16 mm frakcijų skalda bei 11/16 mm frakcijos žvirgždo skalda (UAB „Rizgonys“). Stambiesiems užpildams charakteringa tai, kad juose buvo iki  $2\text{--}3 \%$  reaktyvių dalelių. Viena iš pasiūlytų betono mišinio modifikavimo ypatybių – juose panaudota įmaiša – lignosulfonatinis plastiklis Lubricon TB ( $1,12 \text{ g/ml}$  vidutinio tankio rudas skystis su  $30 \%$  kietųjų dalelių, kurio rekomenduojama

dozė –  $0,2\text{--}1,0$  cemento masės %). Gamintojas produkto apraše nurodo, kad ši įmaiša skirta standžiam betono mišiniui, pusgaminius iš kurio reikia išformuoti tuoju pat. Nurodomas ir šio priedo poveikio mechanizmas (smulkiųjų dalelių dispergavimas), tačiau ar šis priedas skirtas pagerinti mišinio kohezijai, neminima. Tyrimuose ir gamybiniuose bandymuose naudotas naujos rūšies superplastiklis Glenium ACE30 iš polikarboksilo esterio, kurio dėta  $0,3 \%$  cemento masės. Šis priedas dažniausiai naudojamas gaminant didelio stiprio gelžbetonines konstrukcijas. Jo gamintojai teigia, kad su Glenium ACE30 galima paruošti mišinį su itin mažu vandens ir cemento santykiu V/C, o betono susitraukimas gerokai mažesnis, padidėja ir ankstyvasis betono stipris, o tai yra aktualu gaminant gelžbetoninius gaminius su iš anksto įtempta armatūra (www.basfcc.lt). Be to, kai kuriuose tirtuose betonuose buvo panaudotas ir orą įtraukiantis cheminis priedas MicroAir (LP), kurio tankis –  $1010 \text{ kg/m}^3$ .

Cheminiams betono mišinio priedais siekėme ne tiek sumažinti vandens kiekį, reikalingą ir taip jau standžiam betono mišiniui sumaišyti, suformuoti bei sutankinti ekstruderiu, kiek disperguoti sulipusias (standžiam betono mišinyje susigranuliuusias) portlandcemenčio ir smulkiųjų užpildų daleles, jas geriau sumaišyti (tolygiau paskirstyti tarp stambiųjų betono užpildų, taip pagerinant betono struktūrą). Kita vertus, plastiklis šiuose mišiniuose vertintas ir kaip technologinės paskirties betono mišinio komponentas – juo siekta pagerinti mišinio formuojamumą, pusgaminių formavimo operacijos metu sumažinti energines sąnaudas ir įrenginių apkrovas.

## 3. Tyrimo rezultatai

Suprojektuotos betono mišinių sudėty buvo išbandytos laboratorijoje ir gamybinėmis sąlygomis, formuojant gaminius ekstruderiu dviejose skirtingų gamyklų formavimo linijose. Fizikinės ir mechaninės betono savybės nustatytos ir sutankinto betono struktūra įvertinta naudojantis iš anksto suformuotais kubo formos bandiniais ( $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$  bei  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ ) ir iš suformuotų gaminių išgręžiant  $5 \text{ cm}$  skersmens kernus (LST EN 12390-3:2003; LST EN 12504-1:2003; Bandymo metodika BM 04/2008).

Palyginimui buvo išbandytos ir lig šiol gamyklose naudoto C40/50 stiprio klasės standaus ekstruzinio formavimo betono mišinio sudėty (be cheminių priedų – įmaišų). Dalis betono mišinio sudėčių pateikta 1 lentelėje. Bandiniai buvo bandomi po 28 parų, kietinti režimo kameroje. 2 lentelėje surašytos betono mechani-

**1 lentelė.** Betono mišinių sudėtys**Table 1.** The compositions of concrete mixtures

| Betono klasė                                    | Vebe klasė | C, kg | Pl, l | O, l | V, l | S <sub>m</sub> , fr.0/4, kg | S <sub>m</sub> , fr.0/2, kg | S <sub>m</sub> , fr.0/1, kg | Ž <sub>v</sub> , fr. 2/8, kg | Ž <sub>vsk</sub> , fr. 4/16, kg | Ž <sub>vsk</sub> , fr. 8/11, kg | Ž <sub>vsk</sub> , fr. 11/16, kg |
|---|------------|-------|-------|------|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| C50/60  | V2         | 335   | 3,14  | –    | 135  | 685                         | 332                         | –                           | 197                          | –                               | –                               | 755                              |
| C40/50  | V2         | 340   | 2,89  | –    | 135  | 510                         | 440                         | –                           | 220                          | –                               | –                               | 824                              |
| C50/60  | V2         | 378   | 3,03  | 0,57 | 130  | 594                         | 320                         | –                           | 325                          | –                               | –                               | 758                              |
| C40/50  | V2         | 359   | 2,88  | 0,54 | 135  | 510                         | 440                         | –                           | 220                          | –                               | –                               | 824                              |
| C40/50*   | V2         | 360   | 1,12  | –    | 140  | 1046                        | –                           | –                           | –                            | 924                             | –                               | –                                |
| Gamybiniuose bandymuose naudotos betono sudėtys |            |       |       |      |      |                             |                             |                             |                              |                                 |                                 |                                  |
| C50/60  | V2         | 378   | 3,14  | –    | 130  | 594                         | 320                         | –                           | 325                          | –                               | –                               | 758                              |
| C40/50  | V2         | 359   | 2,89  | –    | 135  | 510                         | 440                         | –                           | 220                          | –                               | –                               | 824                              |
| C40/50*   | V2         | 360   | –     | –    | 145  | 396                         | –                           | 354                         | 390                          | –                               | 404                             | 412                              |

**Pastaba.** Šioje lentelėje simboliais pažymėti: C – cementas, Pl – plastiklis, O – orą įtraukiantis priedas, S<sub>m</sub> – smėlis, Ž<sub>v</sub> – žvirgždas, Ž<sub>vsk</sub> – žvirgždo skalda. Ženklu (\*) pažymėtuose betonuose buvo naudotas Naujojoje Akmenėje pagamintas portlandcementis ir užpildai iš Rizgonių karjero.

**2 lentelė.** Betono tankis ir gniuždomasis stipris**Table 2.** Density and compressive strength of the concrete

| Betono ir aplinkos klasė     | Įmaišų atmaina | Betono tankis, kg/m <sup>3</sup> | Gniuždomasis stipris, MPa |
|------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|
| C50/60, XO                   | Pl             | 2425                             | 68,4                      |
| C40/50, XO                   | Pl             | 2410                             | 61,2                      |
| C50/60, XF2                  | Pl, O          | 2395                             | 66,2                      |
| C40/50, XF2                  | Pl, O          | 2378                             | 57,3                      |
| C40/50, XF2*                 | Pl             | 2357                             | 54,1                      |
| Gamybinių bandymų rezultatai |                |                                  |                           |
| C50/60, XO                   | Pl             | 2415                             | 67,3                      |
| C40/50, XO                   | Pl             | 2415                             | 63,5                      |
| C40/50, XF2*                 | –              | 2405                             | 66,5                      |

**Pastaba:** Pl – plastiklis, O – orą įtraukiantis priedas, XO, XF2 aplinkos poveikio klasės.

nės savybės po 28 parų kietėjimo, nustatytos išbandžius 10×10×10 cm ir 15×15×15 cm matmenų (paruošti laboratorijoje) ir išgręžtų kernų (paimti gamybos linijoje) bandinius. Gniuždomojo stiprio rodmenys padauginti iš atitinkamų redukcijos koeficientų.

Laboratorijoje gauti ir gamyboje patikrinti betono rodikliai rodo, kad plastiklio priedas betono mechanines ir fizikines savybes pagerina, nors ir ne taip akivaizdžiai, kaip technologines. Tai teigia kai kurie autoriai (Shah 1996; Mu 1999; Zongjin, Mu 2001; Mu *et al.* 1999). Dėl plastiklio priedo ir mišinio sudėties korekcijos ekstruderio energijos sąnaudos plokščių formavimo metu sumažėja iki 20–25 %. Šis sumažėjimas įvertinamas stebint ekstruderio valdymo kompiuterio rodmenis. Kita vertus, dėl minėto sudėties pakeitimo, itin standaus, sunkiai sutankinamo ir technologiškesnio betono stiprumo ir fizikines savybes lyginti nekorektiška, tačiau akivaizdu, kad betono stiprio klasės reikalavimai tenkinami.

Kaip matyti iš duomenų 1 lentelėje, orą įtraukiantis priedas leido kiek sumažinti plastiklio kiekį mišinyje, bet

betono tankis ir stipris dėl to sumažėjo nedaug (apie 1,3 ir apie 3 % atitinkamai). Šie nuostoliai yra nereikšmingi, todėl jei būtų poreikis gaminti agresyviomis sąlygomis eksploatuojamas plokštes, toks priedas gali būti naudojamas ir ekstruderiu formuojamame betone. Duomenys, kurių dalis surašyta 2 lentelėje, laboratorijoje ir ekstruzinio formavimo linijoje, gamybinėmis sąlygomis, suformuoto betono savybių skirtumai nereikšmingi, todėl tokio betono mišinio ir betono savybes patikima periodiškai tikrinti ir laboratorijoje (2 lentelėje surašyti iš gamybinėmis sąlygomis suformuotų plokščių išpjautų kernų bandymų duomenys). Rezultatai įvertinami skaičiuojant vidurkį iš trijų bandinių. Tokios metodikos naudojimas atpigintų ir paspartintų ekstruzinio betono savybių kontrolę. Kernuose, išpjautuose iš perdangos ir denginio plokščių, suformuotų betono mišinyje nenaudojant plastiklio, susidaro betono struktūra, būdinga blogai sutankintam betonui (1 pav.). Tokių plokščių betone gausu paprasta akimi lengvai įžiūrimų 0,5–4 mm skersmens porų. Dauguma jų yra skiedininėje betono dalyje, nemažai susikaupę kontaktinėje



**1 pav.** Iš betono mišinio be plastiklio ekstruderiu suformuoto betono struktūra: viršuje – porėto kerno vaizdas, apačioje – 40 kartų padidinta didelė betono pora

**Fig. 1.** Structure of the extruded concrete mixture without plasticizer: top photo – view of the porous core, below – 40 times magnified pore of the concrete

zonoje, prie stambaus užpildo dalelių. Be to, minėtų porų daugiau yra viršutinėje gaminio ir kerno dalyje. Šiam betonui būdingos ir nesutankintos sritys – didelės, 0,5–2 cm skersmens netaisyklingos formos poros, kaip įprasta, išsidėsčiusios tarp kelių susiglaudusių stambaus užpildo dalelių. Įdomu, kad 2–3 cm atstumu aplink šias sritis skiedininėje betono dalyje porų nėra. Tokių nesutankintų betono sričių apžiūra parodė, kad čia vyko keli procesai:

a) vibruojant betono mišinį į ertmę tarp kelių kontaktuojančių užpildų negalėjo patekti skiedinio – standžiai kontaktuojantys užpildai ši skiedinį tarsi mechanškai blokavo;

b) tokiose betono mišinio vietose tarp kelių užpildų susiformavo „oro kišenės“ – standi kontaktinė stambiųjų užpildų struktūra padėjo susidaryti ertmėms, jose iš aplinkinių porų susikaupė oras;

c) tikėtina, kad tokiose betono mišinio ertmėse oro slėgis dėl didelių aplinkinio sutankinto skiedinio sričių deformacijų buvo padidintas, tai sukliudė į jas patekti skiediniui.

Tokių stambiųjų užpildų kontaktinių grupių ir jose susidariusių ertmių vaidmenį patvirtina atidesni jų formos ir paviršiaus stebėjimai mikroskopu. Pavyzdžiui, 40 kartų padidintame vienos iš porų vaizde (1 pav., apačioje) matyti, kad į poros ertmę pateko labai nedaug cemento tešlos, betono mišinio skiedinio ir keli juo apvėlti smulkūs užpildai.

Ekstruderiu suformuotų plokščių plastikliu modifikuotame betone plika akimi įžiūrimų porų išvengti nepavyko, tačiau išpjautuose centruose jų yra gerokai mažiau (2 pav.) nei centruose iš nemodifikuoto betono. Čia dominuoja poros, susidariusios skiedininės betono dalies



**2 pav.** Viršuje – kernas iš plokštės, suformuotos su plastikliu, apačioje – 40 kartų padidintas skiedininės tokio betono dalies ir užpildo kontaktinės zonos vaizdas

**Fig. 2.** Core drilled from extruded slab without plasticizer (top photo); below – 40 times magnified view of the contact zone between mortar part and aggregate of the concrete

ir stambaus užpildo kontakto zonoje. Be to, šios poros yra kiek smulkesnės už plastikliu nemodifikuoto betono poras. Plastikliu modifikuoto betono struktūra yra akivaizdžiai geresnė už tokios pačios sudėties betono be plastiklio struktūrą, o išlikusios akimi žžiūrimos poros ir stambus užpildas plastikliu modifikuotame betone pasiskirsto gerokai tolygiau.

Pastebėta, kad betono mišinio su plastikliu yra geresnis rišlumas, vibruojant pagerėja nesukietėjusio mišinio reologinės bei technologinės savybės (pvz., mišinio plastiškumas), lyginant su betono mišiniu be plastiklio. Naudojant plastiklį, mišinio Vebe rodiklis gaunamas toks pats kaip ir mišinio be priedo (16,0 s ir 16,4 s), tačiau su mažesniu vandens kiekiu, reikiamu mišiniui paruošti. Panašiai teigia ir kiti autoriai (Shah 1996; Mu 1999): ekstruderyje apdoroto mišinio su plastikliu struktūra yra akivaizdžiai geresnė už analogišką sudėtį be plastiklio, esant vibraciniam poveikiui efektyviai pagerėja skiedininės betono dalies takumas, vibruojant oras iš mišinio pasišalina lengviau.

Remiantis atliktais tyrimais ir kitų autorių darbais galima teigti, kad ekstruziniu būdu gaminant tuštymėtąsias perdangos plokštes ir betono mišinyje naudojant plastiklį, gaminį iš standaus betono mišinio ekstruderis suformuos mažesnėmis energijos sąnaudomis (Poderytė, Daukšys 2009). Tokiu būdu ką tik suformuoto gaminių forma laikysis patikimiau, bus didesnis ir pradinis suformuoto tuštymėtojo gaminių stiprumas, geresnė kietėjančio betono struktūra.

Aiškinantis, kokį tankį ir stiprumą pasiekia C40/50 stiprumo klasės betonas ekstruderiu suformuotame gaminyje po 28 parų kietėjimo gamybinėmis sąlygomis (suformuotame tuštymėtosios perdangos plokštės pusgaminyje), iš perdangos plokštės buvo išgręžti apie 50 mm skersmens betono kernai. Šių bandinių pjovimo iš perdangos plokštės procesas parodytas 3 pav.

Šių ir ankstesnių tyrimų metu įsitikinome, kad išgręžtų 50 mm skersmens kernų gniuždomasis betono stipris gaunamas mažesnis nei tos pačios sudėties betono stipris, kai bandiniais pasirenkami 100×100×100 mm matmenų kubeliai. Todėl perdangos plokščių betono gniuždomasis stipris bandant 50 mm skersmens kernus įvertintas taikant bandymo metodiką BM 04/2008. Pagal šią metodiką nustatant vertikalia kryptimi perdangos plokštei išgręžtų kernų betono gniuždomąjį stiprį, gauta reikšmė padauginama iš pataisos koeficiento, kuris šiuo atveju yra lygus 1,64. Nustatyta, kad vertikaliai perdangos plokštėje išgręžtų kernų betono vidutinis gniuždomasis stipris po 28 parų kietėjimo gamybinėmis sąlygomis vidutiniškai pasiekia apie 66,5 MPa, o vidutinis kernų betono tankis – apie 2405 kg/m<sup>3</sup>.



3 pav. Kernų pjovimas iš tuštymėtosios perdangos plokštės

Fig. 3. Drilling of the cores from a hollow-core slab

#### 4. Išvados

1. Ekstruderių ir kitos panašios technologinės įrangos gamintojai bei tiekėjai, rekomenduodami šiose technologinėse linijose „tinkamas“ betono mišinio sudėtis bei nurodydami eksploatacinius ekstruderių parametrus, dažnai pervertina savosios įrangos galimybes arba nebūdami suinteresuoti energinius išteklius bei įrenginius tausojančių darbo režimų diegimu, nurodo kritinius jų eksploataavimo parametrus. Artimi ekstreminiams įrenginių eksploataavimo parametrai leidžia pasiekti trumpalaikį efektą, parodo įrangos ir technologijos pirkėjui išpūdi darančias jos galimybes – didžiausią našumą, gerą gaminių paviršiaus kokybę, tačiau tai gaunama apie 25–30 % didesnėmis energinėmis sąnaudomis, nei jos galėtų būti atitinkamai modifikuavus mišinį. Be to, ateityje tokie eksploataciniai formavimo linijų režimai lems pernelyg didelį jų dėvėjimąsi, dažnus ir

- ilgai trunkančius remontus, brangių atsarginių dalių, remontui reikalingų medžiagų ir betono mišinio žaliavų pereikvojimą. Todėl ekstruzinio formavimo linijose būtina atsakyti mechaniško įrenginių tiekėjų pateiktų sudėčių taikymo, jas būtina koreguoti ir modifikuoti.
- Itin standus mišinys, stambiaisais užpildais persotinta tokio betono mišinio sudėtis ir atitinkama betono struktūra nėra tinkama ekstruzinio formavimo plokštėms, nes net ir nauja, nesusidėvėjusia įranga tokį betono mišinį deramai sutankinti sunku – lieka palyginti daug stambių (0,5–4 mm skersmens) porų ir dar didesnių matmenų nesutankinto betono sričių.
  - Nedidelė plastikio dozė tokia mišinyje kartu su vibraciniu poveikiu labai pagerina skiedininės betono dalies takumą, viso betono mišinio sutankinimą, vibruojant palengvina oro pasišalinimą. Dėl teigiamo plastikio poveikio tarp stambaus užpildo dalelių geriau pasiskirsto skiedininė mišinio dalis, gerokai sumažinamas stambių porų kiekis ir beveik panaikinamos nesutankinto betono sritys.
  - Ekstruderyje apdoroto betono mišinio su plastikiu struktūra yra akivaizdžiai geresnė už analogišką sudėtį be plastikio: joje ne tik gerokai mažiau akimi įžiūrimų porų, bet ir likusios poros yra akivaizdžiai mažesnio skersmens. Be to, šiame betone tolygiau pasiskirsto stambaus užpildo dalelės bei palyginti nedidelis likusių smulkių porų kiekis.
  - Atlikti tyrimai patvirtino pasirinktos ekstruzinio formavimo betono bandymo metodikos (kai gręžiami nedidelio, 50 mm skersmens kernai – bandiniai) ir joje siūlomo betono gniuždomojo stiprio pataisų taikymo priimtinumą.

## Literatūra

- Bandymo metodika BM 04/2008*. 2008. Kiaurymėtujų perdangos plokščių betono gniuždomo stiprio vertinimas bandant kernus. Statybinių medžiagų ir konstrukcijų tyrimų centras [Testing methodology BM 04/2008, 2008. The evaluation of hollow core slabs' concrete compressive strength by testing core specimens].
- Degou R; Lu Y. 1988. *Autocutting extrusion machine for producing prestressed concrete cored articles*. United States Patent 4718838.
- Elematic Oy Ab. *Hollow-core slab production plant*. 2005. Finland, Toijala. 12 p.
- Knapton, J. 2003. *Ground bearing concrete slabs: specification, design, construction and behavior*. London: Telford, 293 p.
- Voigt, T; Malonn, T; Shah S. P. 2006. Green and early age compressive strength of extruded cement mortar monitored with compression tests and ultrasonic techniques, *Cement and Concrete Research* 36(5): 858–867.
- Mu, B. 1999. *Short Fiber-Reinforced Cementitious Composites Manufactured by Extrusion Technology*, Ph.D. Thesis. The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong, PRC.
- Mu, B; Zongjin, Li; Stanley N. C. 1999. Chui, Jun Peng. Cementitious composite manufactured by extrusion technique, *Cement and Concrete Research* 29: 237–240.
- Shah, S. P. 1996. High Performance Fiber – Cement Composites by Extrusion Processing, in *Materials for the New Millennium, Vol. 2, Proceedings of the 4th Materials Engineering Conference*, p. 251–260.
- Stevens, J. 1985. *Extruder Principles and Operation*. Elsevier Applied Science, New York.
- Poderytė, J; Daukšys, M. 2009. Plastifikuojančių priedų įtaka ekstruziniu būdu gaminamų perdangos plokščių betono savybėms [The influence of plasticizing admixture on concrete properties of hollow core slabs produced by extruding], iš „Jaunimas siekia pažangos“: Doktorantų mokslinės konferencijos straipsnių rinkinys, 144–147.
- LST EN 1168:2005. *Gamykliniai betoniniai gaminiai. Kiaurymėtosios plokštės* [Precast concrete products – Hollow core slabs].
- LST EN 12390-3:2003. *Bandinių stiprio gniuždant nustatymas* [Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens].
- LST EN 12504-1:2003 *Betono bandymas konstrukcijoje. 1 dalis. Kernai. Paėmimas, apžiūrėjimas ir bandymas gniuždant* [Testing concrete in structures – Part 1: Cored specimens – Taking, examining and testing in compression].
- LST EN 12350-3:2003 *Šviežio betono bandymas. 3 dalis. Vebe bandymas* [Testing fresh concrete – Part 3: Vebe test].
- Zongjin, L.; Mu, B. 2001. Rheological Properties of Cement-Based Extrudates with Fibers, *J. Am. Ceram. Soc.* 84(10): 2343–2350.
- www.basfcc.lt/lt/produktai/betonopriedai/betonopriedai/gleniumace30.

## MODIFYING THE COMPOSITION OF HOLLOW-CORE SLAB CONCRETE

V. Vaitkevičius, E. Ivanauskas, A. Štuopys, M. Daukšys

**Summary.** The questions of the extruded concrete composition and the possibilities of modifying it are very important for the technology for the extruded concrete. The gained experience of working with the extruders of hollow core slabs shows that the operators of such equipment frequently choose an improper strategy for the production process. The main drawbacks are as follows: a) the use of fairly stiff mixture that is far above the necessary Vebe consistency class V2 for this technology; b) the over saturation of the mixture with coarse aggregates which determines a low compaction factor of the mixture; c) the rejection of using concrete admixtures which causes equipment overloads or led to its exploitation in the liminary conditions. Besides, the experience of using extruders proves that all parameters predicted by standards and other norms (for example, concrete strength class C40/50 or C50/60 including water cement ratio  $W/C < 0,45$ ) are obtainable without large efforts. Therefore, the main criteria for the suitability of such concrete modification have rather technological character including the lowest energy consumption during shaping and the compaction of the semi manufacture of the reinforced article as well as the highest structural strength or stability of the fresh concrete slab. Whereas the mechanical properties (mainly strength) of such hardened concrete are mostly within acceptable values, it cannot be treated as the main criterion for optimizing the extruded concrete composition. Extruded concrete compositions used for producing hollow-core slab were chosen for technological and laboratory scale investigations. The amount of Portland cement in the concrete mixture was 335...370 kg/m<sup>3</sup>, sand made 0/2 mm grade – 330...440 kg/m<sup>3</sup> and 0/4 mm grade – 680...510 kg/m<sup>3</sup>; the amount of coarse aggregates 200...325 kg/m<sup>3</sup> and 755...825 kg/m<sup>3</sup> for grades 2/8 mm and 11/16 mm respectively; W/C ratio 0,34...0,39. The crushing strength of the extruded concrete was within 57...68 MPa and more (the results of technological trials). The character of the structure and the compaction level of the extruded mixture are the indicators of its technological suitability. Adding common lignosulfonate –based plasticizer (up to 1% of the cement mass) or a very small dose (0,2...0,3%) of the new generation super plasticizer with or without air entrainment agent could improve the structural and technological properties of such concrete. The experience obtained during laboratory scale investigations and on trials for the manufacturing lines of hollow core slabs shows that the main cause of such improvements is a better dispersion of cement particles in the stiff concrete mixture while the cohesion of the mixture of the freshly extruded article rests near unchanged. The effectiveness of such improvement was proven within the process of observing the level of the consumption of compaction energy – it was registered by the control console of extruders. After improvements in the concrete mixture were carried out, the consumption of compaction energy was reduced by 20...25 %. Investigations into concrete cores drilled –out from the hardened articles prove the apparently better structure of the modified concrete while concrete strength and other physical properties rests rather unchanged (if the mixture W/C ratio rests unchanged). Improvements to concrete structure manifests by the absence of ‘air pockets’ (large pores of irregular form, air gaps trapped during mixture extrusion and compaction), more gradually distributed and comparatively small pores, the absence of internal concrete structure zones with cleft aggregates and loose sand particles and evenly coloured concrete (which proves a very good distribution of cement particles). The use of an air entrainment agent in the stiff concrete mixture allows reducing the dose of the plasticizer (super plasticizer) and reduces the density and crushing strength of the extruded concrete. Such was negligible during investigation and technological trials (up to 1,5 % of concrete density and about 3 % of strength), it was concluded that the air entrainment agent could be used in the extruded concrete for articles the exploitation conditions of which are severe, for example, for class XF2 etc.

Keywords: extruder, hollow core slabs, Vebe consistency, concrete mixture, W/C ratio, plasticizer, concrete cores, pores.

**Vitoldas VAITKEVIČIUS** Assoc. Prof., the Head of the Department of Building Materials at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: high strength and ultra-high strength concrete, the use of secondary raw materials in concrete technology.

**Ernestas IVANAUSKAS** Assoc. Prof. at the Department of Building Materials at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: self-compacting concrete, the use of secondary raw materials in building trade, nanotechnology in concrete technology.

**Arminas ŠTUOPYS** A researcher at the Department of Building Materials at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: fibre – reinforced concrete, concrete admixtures, historical building materials.

**Mindaugas DAUKŠYS** A senior researcher at Building Materials and Structures Research Centre at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: reology of concrete mixtures and cement pastes, nanotechnology in concrete technology.