

## PIGMENTŲ ĮTAKOS SAVAIME SUTANKĖJANČIO BETONO SAVYBĖMS TYRIMAI

Ernestas Ivanauskas<sup>1</sup>, Donatas Grigonis<sup>2</sup>

*Kauno technologijos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>ernestas.ivanauskas@ktu.lt; <sup>2</sup> donatas.grigonis@inbox.lt*

**Anotacija.** Darbe aprašomas geležies oksido pigmento įtakos savaime sutankėjančio betono savybėms tyrimai. Tyrimo metu pigmento į betono mišinius buvo pridedama nuo 3 iki 6 % cemento masės. Taip pat atlikti kelių (chromo oksido, geležies oksido hidroksido ir geležies oksido) pigmentų įtakos normalaus tirštumo cementinei tešlai gauti tyrimai. Straipsnyje parodome, kad geležies oksido pigmentas sumažina vandens poreikio normalaus tirštumo cemento tešlai gauti. Pridedamas pigmentas mažina betono stiprį gniuždant iki 20 %. Bandiniai buvo testuojami po 1 paros ir 28 parų kietėjimo, išlaikant juos vandenyje  $20 \pm 2$  °C. Dalis bandinių, siekiant paspartinti cemento hidratacijos procesą bei įvertinti pelenuose esančio aktyvaus  $\text{SiO}_2$  poveikį savaime sutankėjančio betono savybėms, buvo apdorota termiškai šutinimo kameroje 60 °C temperatūroje. Naudojant geležies oksido pigmentą savaime sutankėjančiam betono mišiniui gaminti, pasklidimas padidėja iki 5 %. Sukietėjusio betono tyrimų duomenys parodė, kad geležies oksidas sumažina vandens įgeriamumą (iki 6 %) bei atvirą betono poringumą. Tai daro jį atsparesnį šalčiui.

**Reikšminiai žodžiai:** savaime sutankėjantis betonas, pigmentai, poringumas, paviršiaus kokybė, pasklidimas.

### Įvadas

Savaime sutankėjantis betonas (SSB) yra vienas iš svarbiausių atradimų statybos pramonėje. Šis betonas dėl gebėjimo užpildyti formas ir klojinius be papildomo tankinimo sudėtingose formose bei sunkiai priimanose vietose suteikia didesnių galimybių architektūros ir dizaino srityse. SSB gali būti naudojamas kaip dekoratyvi medžiaga dėl gaunamos ypač aukštos paviršiaus kokybės (lygumas, tankumas, mažas poringumas), konstrukcijos gaunamos vienalytiškesnės (Ivanauskas 2006; Okamura *et al.* 2003).

Didėjant užsakovų ir architektų poreikiams vis dažniau apdailiniams betonams naudojamos spalvos – įvairūs pigmentai. Pigmentai – tai priedai, suteikiantys betono gaminiams spalvą, atsparūs nepalankiems klimato veiksniams ir šarmams. Šie priedai paprastai yra sintetiniai su geležies, chromo oksidu, kobaltu ir titano dioksidu (Pakeris 1999).

Dažniausiai statybinuose gaminiuose yra naudojami geležies oksido pigmentai. Jie gali būti raudoni, juodi, geltoni. Žalios spalvos pigmentas yra gaminamas naudojant chromavimo medžiagos žalią ir baltą oksidą su titano dioksidu. Naudojant kelių atspalvių pigmentus, pritaikant maišymo ir dozavimo įrenginius, galima gauti didelę spalvų įvairovę (Buxbaum *et al.* 2005).

Natūralūs geležies oksido pigmentai retai yra tokios kokybės, kaip modernios sintetinės jų versijos. Natūralūs pigmentai suteikia drumzlinesnį atspalvį. Pavyzdžiui, natūralūs geležies oksido pigmentai

suteikia rudesnį atspalvį nei sintetiniai (Buxbaum *et al.* 2005; Tebbe 1992).

Pagal LST EN 12878:2005 standartą yra nustatomos tam tikros savybės pigmentams: pigmentai turi būti netirpūs vandenyje, patvarūs įvairiomis klimatinėmis sąlygomis, neveikti betono stiprumo, nedaryti įtakos cemento sustingimui, turėti nekintamą spalvą bei dažančią gebą.

Pigmentai dažniausiai būna miltelių pavidalo, tokius naudojome ir tiriamajame darbe. Pigmentai taip pat egzistuoja kaip skystosios suspensijos (juose yra apie 50 % vandens) bei granulės. Naudojant pigmentų suspensijas, į betono mišinį patenka tam tikras kiekis vandens, todėl keičiasi v/c santykis (Paris *et al.* 1998). Kadangi v/c santykis turi didelę įtaką gaminant SSB (Ivanauskas 2006), todėl tyrimams pasirinkome miltelių pavidalo pigmentus.

Yra žinoma, kad spalvoto betono gaminių paviršiuje dažnai susidaro baltų apnašų sluoksnelis. Tai – betono paviršiuje, hidratuojantis cementui, išsiskyrusių kalkių karbonizacijos produktas – kalcio karbonatas (Naujokaitis 2006; Pakeris 1999). Tačiau tai nėra aktualu gaminiams, kuriems gaminti naudojamas betono mišinys, turintis aktyvių skalūnų pelenu. Mūsų gaminaamam SSB mišiniui naudojamuose pelenuose esantis amorfinis  $\text{SiO}_2$  sureagoja su cemento hidratacijos produktais ir sudaro stabilius hidrosilikatinius junginius (Rudžionis 2002; Sonebi 2004; Khurana *et al.*

2001). Taip išvengiama baltų apnašų susidarymo gaminių paviršiuje.

### Tyrimo metodai ir medžiagos

Bandydams buvo naudojamos šios medžiagos: portlandcementis CEM I 42,5R (LST 197-1:2000, cementas (įprastinis), mikroužpildas: pelenai surinkti šiluminėse elektrinėse Estijoje, jais keičiama 20 % cemento, užpildai: žvirgždas fr. 2/8 sudarė 24 % viso užpildų kiekio, žvirgždo skalda fr. 8/11 sudarė 11 % viso užpildų kiekio, žvirgždo skalda fr. 11/16 – 16,8 % viso užpildų kiekio, smėlis fr. 0/4 sudarė 48,2 % viso užpildų kiekio, technologiniai priedai: orą įtraukiantis priedas „Centrament Air 202“ 0,7 % cemento masės, superplastiklis „Dynamon SP3“ 1,35 % cemento masės, mineraliniai pigmentai: chromo oksidas (žalias), geležies oksido hidroksidas (geltonas), geležies oksidas (raudonas).

Bandydams su SSB atlikti buvo pasirinktas vienas iš trijų anksčiau išvardytų pigmentų. Jie buvo tarpusavyje lyginami pagal savitąjį paviršių naudojant Bleino metodą, pagal LST EN 196-6:1996 standartą atliekant vandens poreikio, normalaus tirštumo cementinei tešlai gauti nustatymą (Navickas 2003).

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami tokia seka: siekiant išsiaiškinti naudojamų pigmentų įtaką cemento akmeniui ir vėliau savaime sutankėjančiam betonui mišiniui ir sukietėjusiam betonui pigmentų buvo pridedama 3 %, 4,5 % ir 6 % cemento masės.

Atlikti betono mišinio pasklidimo (Okuma *et al.* 2003; Sonebi 2004) ir betono tankio pagal LST EN 12390-7 standartą tyrimai. Iš savaime sutankėjančio betono mišinio buvo ruošiami standartiniai kubeliai – 10×10×10 cm, iš kurių buvo nustatomi šie parametrai (rodikliai): stipris gniuždant, tankis pagal LST EN 12390-3:2003, LST EN 12390-7:2003 standartus. Bandydinių vandens įgeriamumas buvo nustatomas pagal LST 1428.18 (Betonas. Bandyimo metodai. Vandens įgeriamumas), standartą ir vandens įgėrio kinetikos tyrimus (GOST 12730.4–78). Nustatant vandens įgeriamumą, pirmiausia bandiniai išdžiovinami 110 °C temperatūroje iki pastovios masės, tuomet ataušinami iki kambario temperatūros ir pasveriami. Tuomet bandiniai panardinami į vonelę ir atitinkamai po 15 min, 30 min, 1 parą ir 2 paras vis ištraukiami ir sveriami.

## Tyrimų rezultatai

### Pigmento parinkimas

Atliekant šį tyrimą, buvo atsižvelgiama į du aspektus: pigmentų savitojo paviršiaus rodiklius (1 lentelė) ir vandens kiekio normalaus tirštumo tešlai gauti rodiklius (2 lentelė).

**1 lentelė.** Savitasis pigmentų paviršius

**Table 1.** Specific pigments surface

Pigmentas	S, cm <sup>2</sup> /g
Chromo oksidas (žalias)	5000
Geležies oksido hidroksidas (geltonas)	31 500
Geležies oksidas (raudonas)	11 200

**2 lentelė.** Vandens kiekis normalaus tirštumo tešlai gauti

**Table 2.** The need for water in a normal cement paste

Pigmentas Kiekis, %	Vandens kiekis normalaus tirštumo tešlai gauti %		
	3 %	4,5 %	6 %
Chromo oksidas (žalias)	26,3	26,5	26,8
Geležies oksido hidroksidas (geltonas)	27,8	29,1	29,8
Geležies oksidas (raudonas)	25,2	25,0	24,9

*Pastaba:* Vandens kiekis normalaus tirštumo cemento tešlai gauti be pigmento – 25,5 %.

Kaip matyti iš 1 lentelės duomenų, geltono pigmento savitasis paviršius yra didžiausias. Kuo didesnis savitasis paviršius, tuo dažomoji geba yra geresnė. Tokio pigmento reikia mažiau sodriai spalvai gauti. Tačiau, kaip matyti iš 2 lentelės, šio pigmento naudojimas padidina vandens poreikį, o tai turi didelę įtaką gaminant savaime susitankinantį betoną.

Chromo oksido pigmento savitasis paviršius sąlygiškai mažas, todėl gauti sodriai spalvai jo reikėtų didesnio kiekio nei kitų pigmentų.

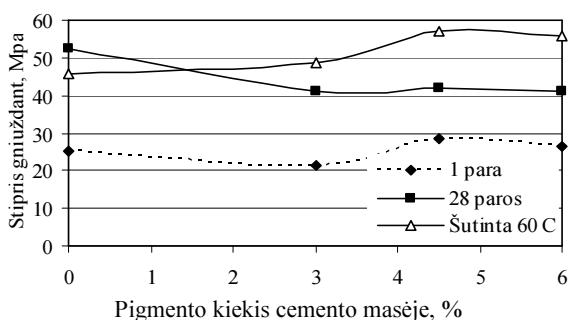
Dėl šių priežasčių tyrimo darbams kaip optimalus variantas buvo pasirinktas geležies oksido (raudonas) pigmentas, kurio savitasis paviršius 11 200 cm<sup>2</sup>/g, ir, kaip matyti iš 2 lentelės, šio pigmento naudojimas netgi labai nedaug sumažina vandens poreikį.

### Normalaus tirštumo cementinės tešlos nustatymas

Normalaus tirštumo tešla yra tokios konsistencijos cemento tešla, į kurią Viko prietaiso strypelis įsminga tam tikru gyliu (5–7 mm, nepasiekdamas dugno) (Navickas 2003).

### Stiprio gniuždant nustatymas SSB pridedant dalį geležies oksido pigmento iš cemento masės

Stipris gniuždant – tai tiriamos medžiagos (šiuo atveju – SSB), kuri suvra veikiamą gniuždymo apkrovos, stiprumo riba, išreiškiama sugniuždžiusios jėgos ir gniuždomo ploto santykiu. Stiprio gniuždant bandymo rezultatai pateikti 1 pav.



1 pav. SSB stiprio gniuždant priklausomybė nuo įdedamo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 1. SCC compressive strength dependency on iron oxide

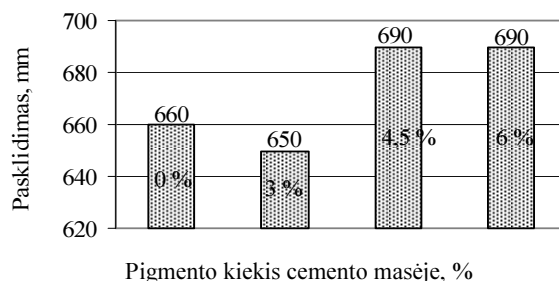
Pastebėta, kad stipris gniuždant dėl geležies oksido pigmento įtakos sumažėja. Tam įtaką gali turėti geležies oksido savitasis paviršius ( $11200 \text{ cm}^2/\text{g}$ ), kuris 3,6 karto yra didesnis nei cemento ( $3100 \text{ cm}^2/\text{g}$ ), jo dalelės pasiskirsto tarp cemento dalelių ir neleidžia joms gerai sukibti, todėl betono stipris gniuždant gaunamas mažesnis.

Bandinių, kurie buvo kietinami šutinimo kameroje, stipris gniuždant padidėjo iki 2 %. Tai lemia mikro užpildas – SSB, naudojami skalūnų pelenai, kuriuose yra aktyvaus amorfinio  $\text{SiO}_2$ , dalyvaujančio cemento hidratacijos reakcijoje (Sonebi 2004; Khurana *et al.* 2001).

### Sklidimo nustatymas savaime SSB pridedant dalį pigmento iš cemento masės

Betono mišinio reologinės savybės yra charakterizuojamos tam tikrais parametrais. Dažniausiai reologinės savybės apibūdinamos mišinio klampiu ir ribiniais šlities įtempimais (Sonebi 2004; Zhu *et al.* 2003; Okuma *et al.* 2003). Technologinės savybės apibūdinamos gebėjimu ištekėti tam tikram betono mišinio tūriui per pasirinktą angą per atitinkamą laiko trukmę arba pasklisti pasirinktu atstumu (prEN 206-9:2007, prEN 12350-9:2007). Siekiant nustatyti SSB mišinio pasklidimą, buvo naudojamas standartinis Abramso kūgis (prEN 206-9:2007, prEN 12350-8:2007). Iš pradžių šis kūgis užpildomas betono mišiniu, paviršius išlyginamas. Tuomet kūginė forma nukeliama, o

suformuotas bandinys paleidžiamas laisvai sklisti. Pasklidęs mišinys turi pasklisti apskritu paplotėliu, neišsiuoksnuoti, taip pat turėtų neatsiskirti vanduo. Kaip aprašo Okuma ir kt. (2003), betono mišinio pasklidimo trukmė iki 500 mm, yra 3–7 s, o iki sklidimo pabaigos neturėtų viršyti 20 s. SSB pasklidimo rodikliai, analizuoti šio tyrimo metu, pateikiami 2 pav.



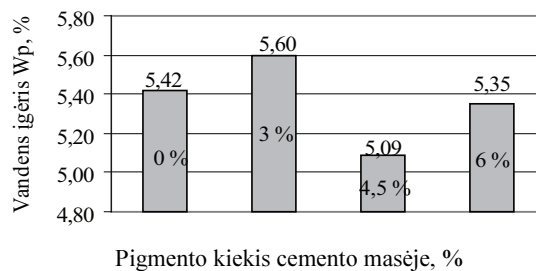
2 pav. SSB pasklidimo priklausomybė nuo pridedamo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 2. SCC mixture slump-flow dependency on iron oxide

Kaip matyti grafike (2 pav.), didinant geležies oksido pigmento kiekį nuo cemento masės mišinio pasklidimas padidėja. Tai galime komentuoti dideliu geležies oksido pigmento savitu paviršiumi. Geležies oksido dalelės yra smulkesnės už cemento daleles, todėl lengvai tarp jų pasiskirsto, jas aplimpa ir neleidžia joms reaguoti su vandeniu. Naudojant 4,5 % ir 6 % cemento masės pigmento, SSB mišinio pasklidimas nesikeičia.

### Vandens įgeriamumo nustatymas SSB pridedant dalį geležies oksido pigmento iš cemento masės

Vandens įgeriamumas – tai medžiagos savybė įgerti vandenį ir jį išlaikyti. Bandinio iš SSB vandens įgeriamumas nustatomas įmirkant jį vandenyje ir apskaičiuojant įgerto vandens kiekį pagal masę. Rezultatai apibendrinti 3 pav.



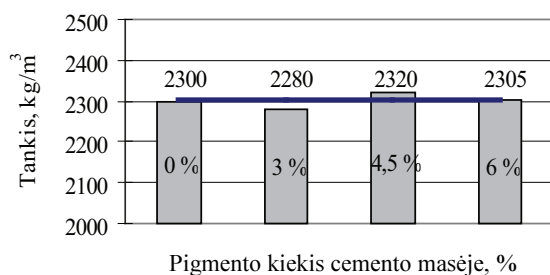
3 pav. Vandens įgeriamumo priklausomybė nuo pridedamo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 3. Water absorption dependency on iron oxide

Kaip matyti iš pateikto grafiko, naudojant 3 % geležies oksido pigmento nuo cemento masės, vandens įgėris padidėja. Tam įtaką gali turėti nekokybiška gaminio struktūra, t. y. jame yra daugiau atvirų porų, mažesnis tankis. Naudojant 4,5 % geležies oksido pigmento iš cemento masės, betono mišinys tampa vienašaknis ir tankesnis – įgėris sumažėja. Didinant iki 6 % pigmento iš cemento masės, vandens įgėris padidėja labiau nei naudojant 4,5 %.

#### Tankio nustatymas SSB pridedant dalį geležies oksido pigmento iš cemento masės

Savaime sutankėjančio betono tankio priklausomybė nuo geležies oksido pigmento kiekio pateikta 4 pav.



4 pav. SSB tankio priklausomybė nuo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 4. SCC density dependency on iron oxide

Kaip matyti iš paveikslo, naudojant skirtingą geležies oksido pigmento kiekį betono mišinyje, sukietėjusio betono tankis kinta labai nedaug ir realios įtakos jam neturi.

#### Atvirų kapiliarinių porų vidutinio dydžio rodiklio λ nustatymas SSB pridedant dalį geležies oksido pigmento iš cemento masės

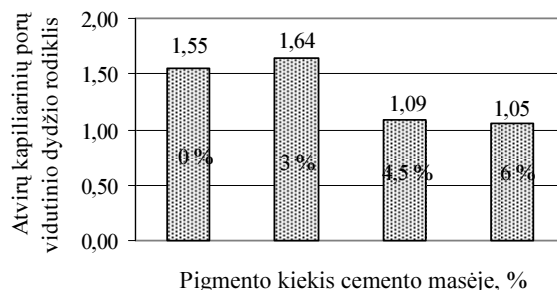
Atvirų kapiliarinių porų vidutinio dydžio rodiklio λ priklausomybė nuo pridedamo geležies oksido pigmento kiekio SSB pateikta 5 pav.

Atlikus tyrimą, nustatyta, kad, naudojant 4,5 % ar 6 % pigmento iš cemento masės, atvirų kapiliarinių porų vidutinio dydžio rodiklis smarkiai sumažėja, palyginti su bandiniu, kuriame buvo naudota 3 % pigmento ir be pigmento.

#### Atsparumo šalčiui kriterijaus $K_s$ nustatymas SSB pridedant dalį geležies oksido pigmento iš cemento masės

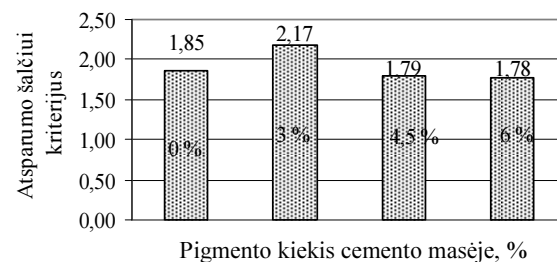
Tyrimo metu nustatyta, kad, naudojant 3 % geležies oksido pigmento nuo cemento masės, betono at-

sparumo šalčiui kriterijus  $K_s$  šiek tiek padidėja. Įdėjus 4,5 % ir 6 % geležies oksido pigmento nuo cemento masės, betono atsparumo šalčiui kriterijus sumažėja. Toks betonas yra atsparesnis ir ilgaamžiškesnis nei betonas be pigmento. Tyrimo rezultatai pateikti 6 pav.



5 pav. Atvirų kapiliarų porų vidutinio dydžio rodiklio λ priklausomybė nuo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 5. Open concrete porosity muddily gauge index λ dependency on iron oxide



6 pav. Atsparumo šalčiui kriterijaus  $K_s$  priklausomybė nuo įdedamo geležies oksido pigmento kiekio

Fig. 6. Resistance against freezing gauge  $K_s$  dependency on iron oxide

Naudojant 4,5 % ir 6 % geležies oksido pigmento kiekį cemento masėje, betono atsparumo šalčiui kriterijus  $K_s$  kinta neesmingai.

#### Išvados

1. Gaminant SSB mišinius, rekomenduojama naudoti polikarboksilinių superplastiklių, kuris labai sumažina naudojamo vandens kiekį ir leidžia pagaminti gero tekamumo betoną nesumažinti ankstyvų kietėjimo procesų.

2. Ištyrus geležies oksido pigmento įtaką SSB gamybai, nustatyta:

- naudojant nustatytą optimalų geležies oksido pigmento kiekį – 4,5 % cemento masės – betono mišinio pasklidimas iki 5 % padidėja,

mišinys nesisluoksniuoja, o betono vandens įgeris sumažėja 6 %;

- pridamas optimalus geležies oksido pigmento kiekis iki 20 % sumažina betono gniuždymo stiprį, tačiau padidina uždara betono poringumą, tai daro betoną atsparesnį šalčiui;
- naudojant 4,5 % ir 6 % geležies oksido pigmento, mažinamas bandinių (betoninių plytelių) paviršinis poringumas, gaunamas vizualiai patrauklesnis paviršius;
- didinant pasirinkto pigmento kiekį iki 6 %, tiek betono mišinio, tiek betono savybės kinta nesmingai.

## Literatūra

- Buxbaum, G.; Pfaff, G. 2005. *Industrial inorganic pigments*. Krefeld, Germany: Weinheim Wiley-VCH.
- Ivanauskas, E. 2006. *Savaime sutankinamo betono struktūros analizė ir savybių tyrimai*: daktaro disertacija. Kaunas: Technologija.
- Khurana, R.; Saccone, R. 2001. Fly Ash in Self-Compacting Concrete, ACI SP, *American Concrete Institute* 19(9): 259–274.
- LST 1428.18 Betonai. Bandymo metodai. Vandens įgeriamumas. Vilnius, 1997. 4 p.
- LST EN 12390-3:2003 Betonų bandymas. 3 dalis. Bandinių stipris gniuždamas. Vilnius, 2003. 16 p.
- LST EN 12390-7:2003/AC:2005 Betonų bandymas. 7 dalis. Betonų tankis. Vilnius, 2005. 2 p.
- LST EN 12878:2005/AC:2006 Pigmentai statybinėms medžiagoms cemento ir (arba) kalkių pagrindu dažyti. Techniniai reikalavimai ir tyrimo metodai. Vilnius, 2006. 2 p.
- LST EN 196-6:1996 Cementas. Bandymo metodai. 6 dalis. Smulkumo nustatymas. Vilnius, 1996. 6 p.
- Naujokaitis, A. 2006. *Medžiagų mokslas*. Vilnius: Technika.
- Navickas, A. A.; Skripkiūnas, G.; Gečys, R. 2003. *Medžiagotyros ir statybinių medžiagų laboratoriniai darbai*. Kaunas: Technologija.
- Okuma, H.; Ouchi, M. 2003. Self-compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology* 1(1): 5–15.
- Pakeris, R. 1999. Dirbame pagal vakarietiškas technologijas, *Statyba ir architektūra* 6: 22–23.
- Pakeris, R. 1999. Karbonatinių apnašų susidarymą mažinantis betono priedai, *Statyba ir architektūra* 6: 24–25.
- Paris, N.; Britz, Chr. 1998. Coloring with Powder, Liquide or Granules, *Concrete Precasting Plant and Technology* 7: 48–57.
- prEN 12350-9:2007 Testing fresh concrete – Part 9: V-funnel test for self-compacting concrete.
- prEN 12350-8:2007 Testing fresh concrete – Part 8: Slump-flow test for self-compacting concrete.
- prEN 206-9:2007 Additional Rules for Self-compacting concrete (SCC).
- Rudžionis, Ž.; Ivanauskas, E.; Ponelis, T. 2002. Pelėnų įtaka savaime susitankinamo betono savybėms, iš *Tarptautinės konferencijos „Statybinės medžiagos“*, įvykusios
- Kaune 2002 m. balandžio 24 d., pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 87–92.
- Sonebi, M. 2004. Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans, *Cement and Concrete Research* 34: 1199–1208.
- Tebbe, R. 1992. The Basic Properties and Manufacture of Inorganic Pigments, *Concrete Precasting Plant and Technology* 3: 129–139.
- Zhu, W.; Bartos, P. J. M. 2003. Permeation Properties of Self-Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research* 33: 921–926.
- ГОСТ 12730.4–78. Бетоны. Методы определения показателей пористости. 1994. 6 p.

## IMPACT OF PIGMENTS ON SELF-COMPACTING CONCRETE

E. Ivanauskas, D. Grigonis

### Summary

We describe an impact of using iron oxide pigment on self-compacting concrete (SCC) properties. We have experimented with adding portions of iron oxide pigment from 3 % to 6 % into cement paste. A few alternative pigments (chromic oxide and iron oxide hydroxide) were used for performing the same experiments. The impact of these pigments on a normal cement paste is described in this paper. We demonstrate that iron oxide pigment reduces the need for water in a normal cement paste. However, adding the pigment also reduces the compressive strength of concrete up to 20 %. The concrete specimens were tested in various time spans, i.e. 1 day to 28 days, by keeping them in  $20 \pm 2$  °C water – normal consolidation regimen. Some of the specimens were processed in steam chamber, at 60 °C in order to make the process of the cement hydration faster, as well as to estimate an impact of active SiO<sub>2</sub> proportion in ash on SCC properties. We show that using iron oxide pigment for SCC mixture increases the slump-flow property of concrete mix up to 5 %. Experiments with solidified concrete have demonstrated that iron oxide diminishes water absorption up to 6 % and decreases open concrete porosity that makes concrete resistant against freezing.

**Keywords:** self-compacting concrete, pigments, porosity, surface quality, slump-flow.