

ISSN 2029-9303



KAUNO
TECHNIKOS
KOLEGIJA

KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJA
KAUNAS UNIVERSITY OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS

Mokslinių straipsnių žurnalas

ENGINEERING AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

Scientific journal

Kaunas, 2022

Vyriausioji redaktorė Dr. Lina Girdauskienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> (Lietuva/Lithuania)		Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Vykdančioji redaktorė Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> (Lietuva/Lithuania)		Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Mokslinė sekretorė Doc. Dr. Esmeralda Štyps <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> (Lietuva/Lithuania)		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Redaktorių kolegija/Editorial Board:		
Dr. Ali Can <i>Karabuk universitetas/ Karabuk University (Turkija/Turkey)</i>		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Habil. Dr. Gál József <i>Šegedo universitetas/ University of Szeged, (Vengrija/Hungary)</i>		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Ivans Griņevičs, <i>Rygos technologijos universitetas, Daugpilio Studiju ir mokslo centras / Riga University of Technology, Daugavpils Study and Research Center</i> (Latvija/Latvia)		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Elmar Heinemann <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences Schmalkalden (DE)</i>		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Rainer Schackmar <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences Schmalkalden (Vokietija/Germany)</i>		Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Mgr. Dominika Trębacz <i>Automobilių pramonės institutas, mokslinio žurnalo „The Archives of Automotive Engineering“ vykdančioji redaktorė/Automobile Industry Institute, Executive editor of scientific journal „The Archives of Automotive Engineering“</i> (Lenkija/Poland)		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Boris Tudjarov <i>Sofijos technikos universitetas/ Sofia Technical University</i> (Bulgarija/Bulgaria).		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Sławomir Wierzbicki <i>Varmijos Mozūrų universitetas/ University of Warmia-Masuria</i> (Lenkija/Poland).		Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Jurgita Barynienė <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology</i> (Lietuva/Lithuania)		Socialiniai mokslai/ Social Sciences

Dr. Andrius Dargužis Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Genutė Gedvilienė Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (Lietuva/Lithuania)	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Darius Kvbartas Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Kastytis Laurinaitis Vytauto Didžiojo universitetas Žemės ūkio akademija / Vytautas Magnus University Agriculture Academy (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Daiva Lepaitė Vilniaus universitetas/Vilnius University (Lietuva/Lithuania)	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Dr. Jonas Matijošius Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania).	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Vytenis Naginevičius Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Rosita Norvaišienė Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Alfredas Rimkus Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania).	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Marius Saunoris Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Tatjana Sokolova Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences

Dr. Raimondas Šadzevičius

Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences
(Lietuva/Lithuania)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Prof. Habil. Dr. Vilija Targamadžė

Vilniaus universitetas/Vilnius University (Lietuva/Lithuania)

Socialiniai mokslai/
Social Sciences

Dr. Rasa Žygienė

Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences
(Lietuva/Lithuania)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Leidiny s įrašytas į **LMT patvirtintų leidinių sąrašą**

<http://www.mab.lt/lt/istekliai-internete/mokslo-zurnalai/269>

Ir įtrauktas į **Index Copernicus Journals Master List**

<http://journals.indexcopernicus.com/inznerina+ir+educacinos+technologijos,p12156,3.html>

Redakcijos adresas:

VšĮ Kauno technikos kolegija

Tvirtovės al. 35, LT- 50155 Kaunas

Tel./faks. (8 37 308620)/(8 37 333120)

El. p. ktk@ktk.lt

<http://www.ktk.lt>

Address:

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Tvirtovės av. 35, LT- 50155 Kaunas

Phone./fax. (+370 37 308620)/(+370 37 333120)

E-mail. ktk@ktk.lt

<http://www.ktk.lt>

Visos leidinio leidybos teisės saugomos. Šis leidinys arba kuri nors jo dalis negali būti dauginami, taisomi ar kitaip platinami be leidėjo sutikimo.

All rights of the publication are reserved. No reproduction, copy or transmission of this publication may be made without publisher's permission.

© Kauno technikos kolegija, 2022

ISSN 2029-9303

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiami skaitytojai ir kolegos,

Mokslinių straipsnių žurnalo “Inžinerinės ir edukacinės technologijos” redkolegija pristatydamas Jums 2022 metų pirmąjį numerį, džiaugiasi, jog šį kartą į Jūsų rankas patenka gana plataus spektro mokslinių publikacijų leidinys.

Dvidešimt trijuose straipsniuose atsispindi tiek technologijos mokslų srities aktualijos, tiek ir realią taikomąją vertę turintys tiriamųjų tyrimų darbai. Šiame leidinio numeryje galime rasti ir pradedančių tyrėjų publikacijų.

Džiugu, kad mokslinius tyrimų rezultatus publikuoja tiek universitetų, tiek kolegijų tyrėjai arba tyrėjų grupės, o šių tyrimų rezultatų pasiekiamumas tampa prieinamas platesniam skaitytojų ratui, kadangi šiame numeryje publikuojami straipsniai lietuvių, anglų kalbomis.

Šis mokslinis žurnalas – tai puiki galimybė dėstytojams, studentams, tyrėjams viešinti savo atliktų mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus, rasti bendradarbiavimo taškų su kitomis tyrėjų grupėmis.

Tikimės, kad visi paminėti aspektai paskatins skaitytojų susidomėjimą publikacijomis, dėkojame straipsnių autoriams ir tikimės sėkmingo tolesnio bendradarbiavimo.

Su pagarba,

Vyriausioji redaktorė

socialinių mokslų dr. Lina Girdauskienė

TURINYS

LENGVOJO BETONO SU PERDIRBTO POLIETILENO IR PŪSTO MOLIO UŽPILDAIS SAVYBIŲ PALYGINIMAS	10
Kipras Zinkevičius ¹ , Deividas Rumšys ² , Darius Bačinskas ¹ , Edmundas Spudulis ³ , Jurgita Malaiškienė ³	
¹ Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakultetas, Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra, ² UAB „SRP projektas“, ³ Statybinių medžiagų institutas	
MASYVIŲ BETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ KONSTRUKCINIAI IR TECHNOLOGINIAI SPRENDIMAI	18
Liutauras Šarkus ¹ , Jolanta Šadauskienė ¹ , Vygantas Šadauskas ²	
¹ Kauno technologijos universitetas, ² UAB „Kelprojektas“	
ANALYSIS OF EMERGENCY CONDITIONS OF CONSTRUCTIONS AND THE WAYS OF THEIR AVOIDANCE.....	24
Jūratė Mockienė, Loreta Inokaitytė	
Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
LIETUVOS MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ STATYBOS IR PROJEKTAVIMO ĮMONĖMS REIKIAMŲ KOMPETENCIJŲ ANALIZĖ	29
Rosita Norvaišienė, Lolita Dalbokaitė	
Kauno technikos kolegija	
TRANSPORTO SRAUTŲ REGULIAVIMO INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ ANALIZĖ	36
Linas Bražionis, Regina Motienė	
Kauno technikos kolegija	
ALTERNATYVIŲ ASFALTO DANGOS MIŠINIŲ PARINKIMO INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS	46
Algirdas Virkšas, Regina Motienė	
Kauno technikos kolegija	
MOBILIOS MAŠINOS „VERIS MSP3“ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS TIKSLIAJAI ŽEMDIRBYSTEI	54
Petras Milius	
Kauno technikos kolegija	
M52B25 VARIKLIO VOŽTUVO SPYRUOKLĖS MECHANINIO NUOVARGIO TYRIMAS.....	65
Edvinas Juodviršis ¹ , Artūras Sabaliauskas ² , Ramūnas Ignatavičius ²	
¹ MB EJProMods, ² Šiaulių valstybinė kolegija	
DVIRATININKO JUDĖJIMO PO PARTRENKIMO AUTOMOBILIU ANALIZĖ	71
Edvinas Juodka, Edgar Sokolovskij	
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
BIOLOGINIAI PLASTINIAI TEPALAI APLINKOJE	77
Artūras Kupčinskas	
Kauno technikos kolegija	
VIRPESIŲ SLOPINIMO SCHEMA	83
Vytenis Naginevičius, Skirmantas Adomavičius	
Kauno technikos kolegija	

ADAPTIVE CONTROL FOR THE METAL CUTTING PROCESS USING SURFACE ROUGHNESS MONITORING METHOD	88
Viktors Gutakovskis, Vladimirs Gudakovskis Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
VERTIKALIOJO APDIRBIMO CENTRO SUKLIO TERMINIŲ DEFORMACIJŲ TYRIMAS	94
Rokas Stankaitis, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
AUTOMOBILIO SAUGOS DIRŽŲ SEGĖJIMO PRIMINIMO SISTEMOS TYRIMAS	105
Vygandas Meseckas, Artūras Aleksynas Kauno Technikos kolegija	
„BIZERBA“ LINIJOS ŽENKLINIMO SISTEMOS MODERNIZAVIMAS	112
Matas Širvelis, Stasys Kašėta Kauno technikos kolegija	
IZOLIACIJOS BŪKLĖS ĮVERTINIMAS PASITELKiant DALINIŲ IŠLYDŽIŲ MATAVIMĄ ELEKTROMAGNETINIŲ BANGŲ SPINDULIAVIMO METODU	118
Gediminas Daukšys Kauno technikos kolegija	
Į STUDENTŲ ORIENTUOTOS STUDIJŲ KULTŪROS TYRIMO INSTRUMENTO METODOLOGINIS PAGRINDIMAS	125
Giedrė Adomavičienė Kauno technikos kolegija	
LOGISTIKOS PERSONALO VALDYMO GALIMYBĖS TAIKANT „MOODLE“ PLATFORMĄ	130
Saulius Lileikis, Arnas Puzinas Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla	
VARTOTOJŲ TEISĖS Į EKONOMINIŲ INTERESŲ APSAUGĄ UŽTIKRINIMO VEIKSMINGUMAS	137
Kęstutis Vitkauskas Kauno technikos kolegija	
KONTEINERIŲ KROVOS ORGANIZAVIMAS UOSTO TERMINALE: MOKSLINĖS IR TEISINĖS PRIELAIDOS	149
Laurynas Gedmintas, Saulius Lileikis Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla	
SĄSKAITŲ FAKTŪRŲ DUOMENŲ PERKĖLIMO VALDYMO SISTEMA	154
Jurij Tekutov ^{1, 2, 3, 4} , Julija Smirnova ¹ Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas, Inžinerijos ir informatikos katedra ¹ Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, Informatikos ir statistikos katedra ² Lietuvos verslo kolegija, Technologijų katedra ³ , Socialinių mokslų kolegija ⁴	
SUDĖTINIŲ SKAIČIŲ FAKTORIZAVIMO ALGORITMAS	165
Petras, Nefas, Rūta, Jankūnienė Kauno technikos kolegija	
GAMYBOS PROCESO EFEKTYVAUS VALDYMO DUOMENŲ RŪŠIAVIMO ALGORITMŲ APŽVALGA	170
Urtė Radvilaitė Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Fundamentinių mokslų fakultetas, Informacinių sistemų katedra	

LENGVOJO BETONO SU PERDIRBTO POLIETILENO IR PŪSTO MOLIO UŽPILDAIS SAVYBIŲ PALYGINIMAS

Kipras Zinkevičius¹, Deividas Rumšys², Darius Bačinskas¹, Edmundas Spudulis³, Jurgita Malaiškienė³

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakultetas, Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra, ²UAB „SRP projektas“, ³Statybinių medžiagų institutas

Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamos galimybės didelio ir mažo tankio polietileno atliekas naudoti kaip užpildą lengvajame betone ir atliktas palyginimas su lengvojo betono, kuriame naudojamas įprastinis pūsto molio užpildas, savybėmis. Betono bandinių su skirtingais užpildais hidratacijos kinetikos tyrimai buvo atlikti naudojant ultragarso impulsų greičio matavimus. Eksperimentiniam tyrimui buvo naudojami didelio ir mažo tankio polietileno plastiko atliekų užpildai, pasižymintys mažu vandens įgeriamumu ir vandeniui atspariu paviršiumi. Nustatyta, kad betono bandinių su mažo vandens įgeriamumo perdirbto polietileno užpildais po 7 parų kietėjimo labai sumažėjo stiprio augimo tempas. Minėtų bandinių tankis – 1950 – 2021 kg/m³, o gniuždymo stipris ne mažesnis kaip 42 MPa. Naudojant iš anksto sudrėkintą panašios mišinio sudėties pūsto molio užpildą, betono tankis – 1900 kg/m³, o gniuždymo stipris iki 70,2 MPa. Nors iš anksto sudrėkintas keramzitas pasižymi panašiomis mechaninėmis savybėmis kaip ir perdirbto polietileno užpildai, iš anksto sudrėkintas keramzitas užtikrina geresnę cemento hidratacijos procesą, susidaro tankesnė struktūra ir tada lengvasis betonas mažiau įgeria vandens.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: lengvasis užpildas, betonas, plastiko atliekos, polietilenas, pūstas molis.

Įvadas

Įgyvendinant žiedinės ekonomikos kūrimo dokumentų nuostatas bei užtikrinant švaresnės gamybos koncepciją, kai siekiama padidinti gamybos efektyvumą ir sumažinti riziką žmonėms bei aplinkai, labai svarbiu uždaviniu tampa racionalus pramonės atliekų antrinis panaudojimas. Vykdam atliekų perdirbimo ir naudojimo programas ateityje dalis gamtinių medžiagų turės būti pakeistos atliekomis. Viena iš galimybių – plastiko atliekų kaip stambiųjų ir smulkiųjų užpildų panaudojimas lengvojo betono gamyboje.

Lengvojo betono gamybai naudojami įvairūs užpildai, kurių tankis mažesnis nei įprastai naudojamų žvirgždo ar skalos. Lengvieji užpildai (LU) skiriasi tankiu, stipriu, vandens įgeriamumu, paviršiaus savybėmis ir forma. Visi šie skirtumai turi įtakos pagaminto betono mechaninėms ir ilgaamžiškumo savybėms. Viena iš problemų gaminant lengvąjį betoną su aktyviu LU yra ta, kad reologinės savybės priklauso nuo tokių užpildų sorbcijos savybių. Atlikti skalūno ir keramzito užpildų sorbcijos savybių tyrimai parodė, kad po 24 valandų vandens įgeriamumas kito nuo 6,0% iki 30,5% (Castro, 2011: 1001-1008). Jei užpildai nėra iš anksto sudrėkinti, jie maišymo metu gali įgerti daug vandens, o pumpavimo metu betonas gali prarasti technologiskumą. Tačiau, daugumos plastikų vandens įgeriamumas yra labai mažas ir šios medžiagos atitinka tankio reikalavimus lengvojo betono gamybai.

Galimas perdirbtų plastiko atliekų užpildų panaudojimas betone yra tyrinėtas daugelio mokslininkų (Senhadji, 2015: 625-640; Kumar, 2015: 718-724). Šios srities apžvalgą pateikia Siddique (Siddique, 2008: 2281-2291), kurioje teigiama, kad Europoje didžiausia plastiko atliekų dalis yra mažo tankio polietilenas (MTPE) apie 23%, po to 18,5% polipropilenas (PP), 17,3% didelio tankio polietilenas (DTPE), 12,3% polistirenas (PS), 10,7% polivinilchloridas (PVC), 8,5% polietileno tereftalato (PET) ir 9,7% kitų rūšių. Apie 40% plastiko atliekų sudaro LDPE ir HDPE, tačiau didžioji dalis tyrimų yra orientuota į polietileno tereftalato (PET) atliekų (Jo, 2008: 2281-2291) ir mažo tankio putų polistirolo (PPS) granulių (Babu, 2003: 211-217) naudojimą.

Didesnio stiprio lengvasis betonas su PPS granulėmis ir cenosferomis gali būti gaunamas naudojant geopolimerinį rišiklį su lakiaisiais pelenais, metakaolinu, natrio hidroksidu ir natrio silikato tirpalu (Wu, 2007: 211-217). Nustatyta, kad nors cenosferos turi tendenciją sugerti beveik 100% pagal savo masę vandens, ir atvirkščiai, EPS granulės yra hidrofobinės ir jų vandens įgeriamumas artimas nuliui, abiejų betono bandinių vandens įgeriamumas yra didelis ir panašus (Wu, 2007: 211-217).

Siekiant padidinti cementinio skiedinio ir plastiko sukibimą, buvo modifikuoti užpildų, gaminamų iš PET butelių atliekų ir smėlio ar malto aukštakrosnių šlako, paviršiai (Choi, 2005: 776-781; Choi, 2009: 2829-2835).

Polietileno (PE) užpildų panaudojimas betone nėra plačiai ištirtas. Ismail ir AL-Hashmi (Ismail, 2008: 2041-2047) nustatė, kad pakeitus 20% smėlio polietileno ir polistireno atliekomis, betono gniuždymo stipris buvo žymiai mažesnis, palyginus su įprastu betonu. Tai galima paaiškinti sumažėjusiu sukibimo stiprumu tarp plastiko atliekų paviršiaus ir cementinio skiedinio.

Taip pat, buvo ištirta galimybė panaudoti skirtingo dydžio ir tipo plastiką kaip užpildą betono gamyboje (Ferreira, 2012: 196-204; Silva, 2014: 226-236; Almeshal, 2020: 4631-4643). Nors kai kurie mišiniai gauti technologiški, didžioji dalis parametrų suprastėjo lyginant su įprastais betono mišiniais.

Šio darbo tikslas – ištirti įvairių formų DTPE plastiko atliekų poveikį betono mechaninėms savybėms. Gauti rezultatai lyginami su analogiškos sudėties betonu tik su pūsto molio užpildu. Apibūdinama, kokią poveikį užpildų vandens įgeriamumas turi betono bandinių vandens įgeriamumui.

Medžiagos

Šiame tyrime naudotos toliau išvardintos žaliavos.

Cementas: „Aalborg“ baltas cementas CEM I 52,5 R buvo naudojamas visų tipų mišiniuose: tankis – 3,063 g/cm³, smulkumas (nustatytas su Bleino prietaisu) – 308 m²/kg, gniuždymo stipris po 28 parų kietėjimo – 73 MPa.

Smulkusis užpildas: smulkiąjam užpildui naudota plauto smėlio frakcija 0/4 iš „Gariūnų“ telkinio ir pūsto molio LecaS frakcija 2/4.

Mikroužpildai: naudotas UAB „Anykščių“ telkinio maltas kvarcinis smėlis, kurio maksimalus dalelių dydis mažesnis nei 100 μm, ir mikro silicio dioksidas „RW –Füller“ iš „RW silicium GmbH“.

Superplastiklis: kad sumažinti vandens ir kietosios medžiagos santykį (V/K) cemento skiedinyje, buvo naudojami du superplastikliai: polikarboksilato esterio (Nr. 1) ir polietilenglikolio (Nr. 2) pagrindu.

Perdirbto polietileno užpildas: naudotas iš plastiko gamybos įmonės UAB „Plasta“. 1 lentelėje pateiktos naudotų plastiko ir pūsto molio užpildų fizinės ir mechaninės savybės. Medžiagų tankis ir vandens įgeriamumo savybės nustatytos pagal EN 1097-6:2013, gniuždymo stipris nustatytas pagal EN 13055-1:2003. Kaip matyti iš duomenų (1 lentelė), visų užpildų dalelių tankis yra panašus, tačiau, priklausomai nuo formos, skiriasi piltinis tankis. Išmatuotas perdirbto polietileno užpildo vandens įgeriamumas yra labai mažas, o pūsto molio užpildo, priešingai, įgeriamumas yra gana didelis – 24,5%. Užpildų atsparumas gniuždymui priklauso nuo jų formos ir medžiagų mechaninių savybių. DTPE MFI 2.51 bandinys turi identiškas daleles, kurių skersmuo yra apie 6 mm, o storis – 3 mm. Atlikus atsparumo gniuždymui eksperimentą, DTPE MFI 2.51 bandinio dalelės dėl savo elastingumo savybių nebuvo pažeistos, o pūsto molio granulės pasižymėjo trapiu suirimu.

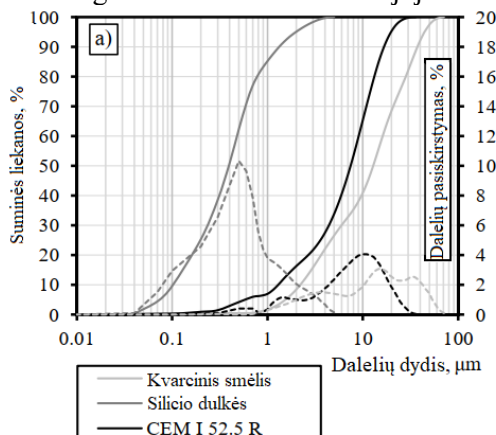
1 lentelė

Fizinės ir mechaninės naudotų užpildų savybės

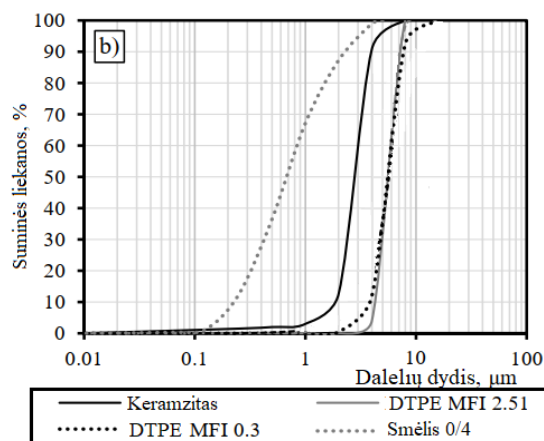
Nr.	Medžiaga	Dalelių tankis, kg/m ³	Piltinis tankis, kg/m ³	Vandens įgeriamumas po 24 val., %	Gniuždymo stipris, MPa
1	Pūsto molio granulės	804	488	24,5	3,49
2	DTPE MFI 2.51	935	540	0,04	5,29
3	DTPE MFI 0.3	945	436	0,016	2,30

Visų panaudotų užpildų, cemento ir mikroužpildo granuliometrinės kreivės pateiktos 1 pav. ir 2 pav. Visų užpildų formos pateiktos 3 pav.

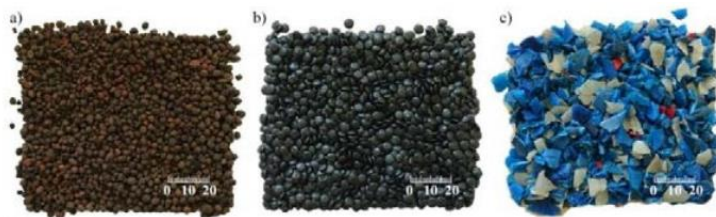
Dalis DTPE MFI 2.51 perdirbto polietileno užpildų buvo apdorota mechaniškai, kad dalelių paviršius būtų grublėtas. Plastiko granulės ir 0/4 frakcijos smėlis santykiu 2:1 buvo maišomas maišyklėje „Eirich R02E“ 5 minutes. Po maišymo, plastik granulės buvo atskirtos siojant.



1 pav. Naudotų medžiagų granuliometrija nustatyta dalelių dydžio analizės įrenginiu „Cilas 1090“



2 pav. Naudotų medžiagų granulometrija gauta naudojant sietų rinkinį „Haver EML 200 digital T“



3 pav. Užpildų formos: (a) pūstas molis; (b) DTPE MFI 2.51; (c) DTPE MFI 0.3.

Mišinių sudėtis

Lengvojo betono mišinių sudėtys su plastiko atliekomis ir pūstu moliu nuo D1 iki D8 pateikti 2 lentelėje. Cementinio skiedinio sudėtis visais atvejais buvo vienoda, tačiau buvo naudojamas skirtingas mikroužpildas – maltas kvarcinis smėlis arba silicio mikrodulkės.

2 lentelė

Medžiaga	Bandinių kodas/Kiekis pagal svorį, %							
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Smėlis	60	60	60	60	60	60	60	60
Cementas	36	36	36	36	36	36	36	36
Kvarcinis smėlis	4	-	4	-	4	-	4	-
Silicio mikrodulkės	-	4	-	4	-	4	-	4
Pūstas molis	15	15	-	-	-	-	-	-
DTPE MFI 2.51	-	-	17,4	17,4	-	-	-	-
DTPE MFI 2.51*	-	-	-	-	17,4	17,4	-	-
DTPE MFI 0.3	-	-	-	-	-	-	17,6	17,6
Superplastiklis Nr. 1	3% nuo cemento masės							
Superplastiklis Nr. 2	0,5% nuo cemento masės							
V/K (Neįtraukiant užpildų)	0,09							

Tyrimo metodai

Betono maišymas atliktas 20l Hobart tipo maišyklėje, užpildus įmaišant į sumaišytą cementinį skiedinį. Pūsto molio užpildas buvo papildomai sudrėkintas 10% (pagal masę) vandens atskirame inde 1 val. prieš maišant. Visi kiti užpildai buvo naudojami sausi.

Betoniniai bandiniai buvo liejami (70,7×70,7×70,7) mm plieninėse formose. Mėginiai buvo kietinami formose 2 paras, o likusį laiką (iki 28 parų) 20 °C ± 1 °C temperatūroje ir 95 % santykinėje drėgmėje. Po 2, 7, 14 ir 28 parų ultragarso impulso greičio (UIG) tyrimas buvo atliktas aparatu „PUNDIT 7“. Gniuždymo stipris po 7 ir 28 dienų pateikiamas kaip vidutinė vertė, gauta iš šešių bandinių.

Bandinių tankis yra vidutinė vertė, gauta ištyrus tris bandinius po 28 parų kietėjimo. Tankis nustatomas išdžiovinus mėginius 80°C temperatūroje iki pastovios masės. Bandinių tūris buvo apskaičiuotas pagal jų matmenis.

Vandens įgeriamumas nustatytas po 28 parų bandinių kietėjimo pagal EN 1097-6:2013. Bandinių paviršiai nebuvo apsaugoti derva. Buvo atlikta papildoma vandens absorbcija vakuume. Laikant bandinius vandenyje, talpykloje per 5 minutes buvo sudarytas 0,027 MPa vakuumas, kuris 20 minučių išlaikomas pastovus ir per 5 minutes sumažinamas iki aplinkos slėgio. Visiškai bandinių prisotinimui vandeniu buvo atliekami trys ciklai.

Skėlimo stiprio bandymas atliktas su (70,7×70,7×70,7) mm dydžio bandiniais po vandens sugerties vakuume bandymo. Bandymas buvo atliktas pagal EN 12390-6:2009.

Rezultatai

Ultragarsinio impulso greičio (UIG) bandymas yra neardomasis tyrimo metodas, leidžiantis įvertinti betono struktūros pokyčius cemento hidratacijos metu. Garso greitis kietoje medžiagoje yra jos dinaminio tamprumo modulio ir tankio funkcija. Žinant betono tamprumo modulį, kitas mechanines savybes galima nesunkiai įvertinti remiantis empirine koreliacija (Proverbio, 2005: 1-7).

Po 2 parų bandinių kietėjimo didžiausia UIG vertė buvo gauta D2 serijos bandiniuose su pūstu molio ir silicio mikrodulkėmis. Minimali UIG vertė buvo išmatuota D4 bandinių serijoje ir išliko nedidelė ir po 7 dienų kietėjimo. O po 7 dienų kietėjimo pastebimas gana tolygus UIG padidėjimas, tačiau didžiausias padidėjimas yra bandiniuose su malto kvarcinio smėlio mikroužpildu. Po 28 parų mikroužpildų įtaka UIG yra minimali. D1 ir D2 bandinių su pūsto molio užpildu UIG yra didžiausias. Tuo tarpu daugumos bandinių su plastiko užpildu UIG yra mažesnis apie 300 m/s. Kadangi UIG padidėjimas yra susijęs su cementinio skiedinio mechaninių savybių kitimu hidratacijos proceso metu, galima pastebėti, kad bandiniai su plastiko užpildais turėjo blogesnes cemento hidratacijos sąlygas nei bandiniai su pūsto molio užpildu. Šie skirtumai gali būti pastebėti po 7 parų kietėjimo ir vis dar yra reikšmingi po 14 parų, o bandinių su plastiko užpildais UIG vertė išlieka beveik tokia pati.

UIG kietoje medžiagoje taip pat priklauso nuo medžiagos tankio. Bandinių tankis po 28 dienų kietėjimo ir po džiovinimo krosnyje pateiktas 3 lentelėje.

3 lentelė

Bandinių tankis po 28 parų kietėjimo ir džiovinimo krosnyje

Tankis, kg/m ³		
	po 28 parų	po džiovinimo krosnyje
D1	1975	1959
D2	1931	1895
D3	1982	1961
D4	1952	1951
D5	1963	1942
D6	1953	1912
D7	2001	1958
D8	1965	1948

Reiktų pabrėžti, kad bandinių su silicio mikrodulkių užpildu serijos (D2, D4, D6, D8) tankis yra mažesnis. Taip yra dėl to, kad esant tokiam pačiam V/K santykiui cementinis skiedinys su silicio mikrodulkėmis yra klampesnis ir maišymo metu patekęs oras nepasišalina. Didžiausias tankis po 28 parų, nustatytas bandiniams su DTPE MFI 0.3 (D7 – 2001 kg/m³), o mažiausias bandinių tankis gautas su pūsto molio užpildu (D2 – 1932 kg/m³).

Ryšys tarp gniuždymo stiprio ir betono bandinio kietėjimo laiko parodytas 4 lentelėje.

4 lentelė

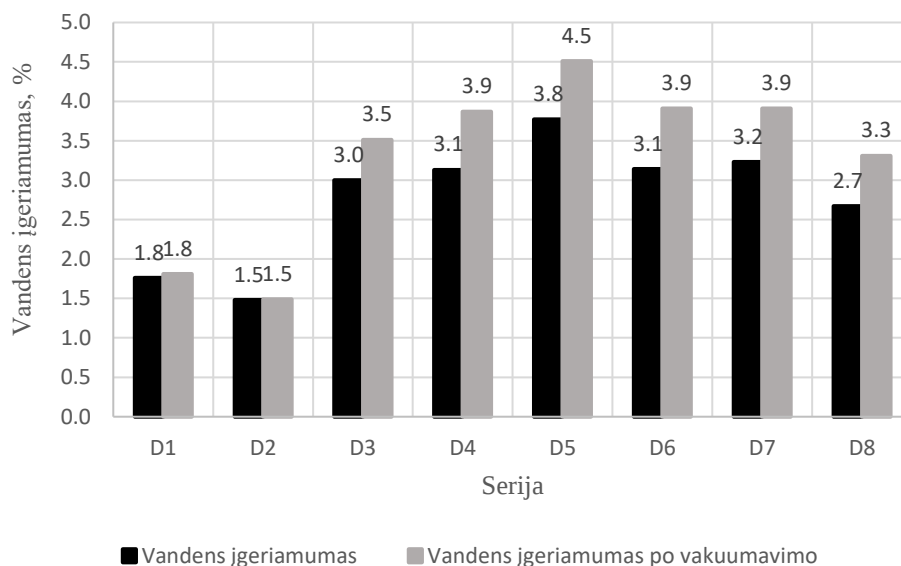
Bandinių gniuždymo stipris po 7 ir po 28 parų

Gniuždomasis stipris, Mpa		
	po 7 parų	po 28 parų
D1	57,8	66,5
D2	62,2	70,3
D3	36,1	45,9
D4	42,2	43,3
D5	39,5	43,0
D6	41,5	49,6
D7	41,9	42,2
D8	40,3	46,1

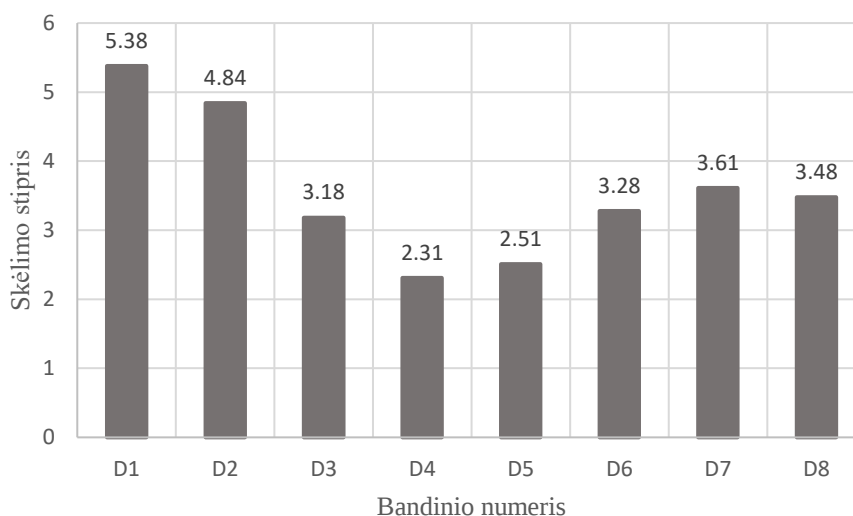
RILEM apibrėžia konstrukcinį lengvąjį betoną, kaip betoną, kurio tankis yra 1600–2000 kg/m³, o gniuždymo stipris didesnis nei 15 MPa (Newman, 2003). Nustatyta, kad visų betono bandinių serijų gniuždymo stipris po 28 parų kietėjimo viršijo 40 MPa, o beveik kiekvienos serijos bandinių tankis buvo mažesnis nei 2000 kg/m³, todėl jį galima identifikuoti kaip konstrukcinį lengvąjį betoną. Mėginių su plastiko užpildu gniuždymo stipris yra mažesnis nei 50 MPa, o bandinių serijos su pūsto molio ir silicio mikrodulkių mikroužpildu – 70,2 MPa ir bandinių su malto kvarcinio smėlio mikroužpildu – 66,1 MPa. Mėginys D6 su mechaniškai apdorotais DTPE MFI 2.51 užpildais ir silicio mikrodulkių mikroužpildu įgavo didžiausią gniuždymo stiprį iš visų bandinių su plastiko užpildais – 49,2 MPa.

Gniuždymo metu bandiniai su plastiko užpildais suiro nestandžiai ir išlaikė savo pradinę formą. Norint įvertinti veiksnius, turinčius įtakos betono gniuždymo stipriui, buvo atlikti vandens įgeriamumo ir skėlimo stiprio bandymai po vandens įgeriamumo vakuume nustatymo. Gauti rezultatai pateikti 4 pav. ir 5 pav.

Gauti vandens įgeriamumo tyrimo duomenys yra neįprasti. Bandinių su porėtu, vandenį sugeriančiu pūsto molio užpildu vandens įgeriamumas yra 2 kartus mažesnis nei bandinių su plastiko užpildais, kurių vandens įgeriamumas yra nereikšmingas. Nustatyta, kad bandinių vandens įgeriamumas, taip pat, priklauso nuo naudojamo mikroužpildo ir dažniausiai būna mažesnis naudojant silicio mikrodulkes. Išskirtinis atvejis yra D3 pavyzdys su malto kvarcinio smėlio mikroužpildu, dėl kurio sumažėja vandens įgeriamumas. Vandens įgeriamumas vakuumuojant parodė dar didesnę skirtumą tarp bandinių su pūsto molio ir plastiko užpildu. D1 ir D2 serijų vandens įgeriamumas padidėjo atitinkamai 0,05% ir 0,01%, o serijų D3–D8 - nuo 0,51% iki 0,77%. Tarp bandinių su plastiko užpildu didžiausias vandens įgeriamumo padidėjimas buvo pastebėtas didesnio tankio bandiniams D4, D5 ir D6 DTPE užpildu.



4 pav. Bandinių D1-D8 vandens įgeriamumas prieš ir po vakuumavimo



5 pav. Bandinių D1-D8 skėlimo stipris po vandens įgeriamumo vakuumuojant bandymo

Atliktas skėlimo bandymas leidžia įvertinti užpildų ir cementinio skiedinio sukibimo savybes. D1 ir D2 serijos su keramzito užpildu buvo trapios, nes per užpildą ėjo skilimo plokštuma. Keramzito dalelės neatsiskyrė nuo cementinio skiedinio, todėl buvo gautas didžiausias atsparumas skėlimui. D1 serijos bandiniams su malto kvarcinio smėlio mikroužpildu gautas 5,38 MPa. Po skėlimo bandymo bandiniuose buvo aiškiai matomas vandens prasiskverbimo gylys, iš kiekvienos bandinio pusės buvo ~8 mm, o kraštuose ~16 mm. D3 ir D4 serijų bandiniai su plastiko užpildais buvo vienodai įmirkyti. Skėimo bandymo metu užpildai buvo nepažeisti ir lengvai atsiskyrė nuo cementinio skiedinio. Bandiniai su DTPE MFI 2.51 užpildais įgijo mažiausias skėlimo stiprio vertes. Bandinio su pūsto molio užpildu vandens įgeriamumas parodė, kad cementinio skiedinio struktūra skiriasi nuo bandinių su plastiko užpildu ir šis betonas yra mažiau laidus vandeniui.

Dėl betono savaiminio džiūvimo ir autogeninio susitraukimo sumažėja jo vidinė santykinė drėgmė. Tai sukelia ankstyvuosius įtrūkius ir turi įtakos cemento hidratacijos procesui (Bentz, 1999: 1863-1867; Golias, 2012: 52-62; Cusson. 2008: 757-765). Siekiant to išvengti, prieš maišant pūsto molio užpildas turi būti sudrėkinamas. Papildomas vanduo taip pat padidins cemento hidrataciją mišinyje. Sustiprintas hidratavimas sutankina medžiagos porų struktūrą. Šis metodas vadinamas vidiniu kietėjimu (Zhutovsky, 2012: 20-26; Bentz, 2011).

Išvados

1. Nustatyta, kad UIG metodika leidžia stebėti betono cemento hidratacijos proceso ypatumus su skirtingo vandens įgeriamumo užpildais. Po 7 parų lengvojo betono kietėjimo su plastiko užpildais (kurie turi labai mažą vandens įgeriamumą), pastebimas reikšmingas stiprumo savybių augimo sumažėjimas, palyginti su betonu, kuriame naudotas iš anksto sudrėkintas pūsto molio užpildas.
2. Betono kompozicijos, kurios tankis yra nuo 1950 iki 2000 kg/m³ su plastiko atliekų užpildais DTPE po 28 parų kietėjimo, gniuždymo stipris yra didesnis nei 40 MPa. Naudojant iš anksto sudrėkintą pūsto molio užpildą su analogiškos sudėties cementiniu skiediniu, gaunamas bandinių vidutinis tankis 1950 kg/m³, o gniuždymo stipris iki 70,3 MPa.
3. Nors ir pasižymi panašiomis mechaninėmis savybėmis kaip ir plastiko atliekų užpildai, didesnio poringumo iš anksto sudrėkintas pūsto molio užpildas sukuria optimalias sąlygas cemento hidratacijai, o tai lemia dvigubai mažesnę vandens absorbciją.
4. Papildomas mechaninis DTPE granulių apdorojimas neturėjo įtakos lengvojo betono gniuždymo stipriui ir vandens įgeriamumui.
5. Nustatyta, kad naudojant silicio mikrodulkių mikroužpildą betono mišinyje su tuo pačiu V/K santykiu, gaunamas didesnis gniuždymo stipris ir mažesnis vandens įgeriamumas, lyginant su malto kvarco mikroužpildu.

Literatūra

1. Almeshal. N.A. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, A.M. Mohamed, Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand, J Mater Res Technol. 2020;9(3):4631-4643.K.G. Babu, D.S. Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cem. Concr. Res. 33 (2003) 755–762.
2. D.P. Bentz, K.A. Snyder, Protected paste volume in concrete: Extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregate, Cem. Concr. Res. 29 (1999) 1863–1867.
3. D.P. Bentz, W.J. Weiss, Internal Curing : A 2010 State-of-the- Art Review, Civ. Eng. (2011).
4. J. Castro, L. Keiser, M. Golias and J. Weiss. Absorption and desorption properties of fine lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures. Cem. Concr. Compos. 33 (10), (2011) 1001-1008.
5. Y.W. Choi, D.J. Moon, J.S. Chung, S.K. Cho, Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, Cem. Concr. Res. 35 (2005) 776–781.
6. Y.W. Choi, D.J. Moon, Y.J. Kim, M. Lachemi, Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 2829–2835.
7. D. Cusson, T. Hooegeveen, Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking, Cem. Concr. Res. 38 (2008) 757–765.
8. L. Ferreira, J. de Brito, N. Saikia, Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate, Constr. Build. Mater. 36 (2012) 196-204.
9. M. Golias, J. Castro, J. Weiss, The influence of the initial moisture content of lightweight aggregate on internal curing, Constr. Build. Mater. 35 (2012) 52–62.
10. Z.Z. Ismail, E.A. AL-Hashmi, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, Waste Manag. 28 (2008) 2041–2047.

11. B.-W. Jo, S.-K. Park, J.-C. Park, Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates, *Constr. Build. Mater.* 22 (2008) 2281–2291.
12. K. Senthil Kumar, K. Baskar, Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 17 (2015) 718–724.
13. Newman J, Choo BS, editors. *Advanced concrete technology constituent materials*. Elsevier Ltd. 2003.
14. E. Proverbio, V. Venturi, S.A. Messina, Reliability of nondestructive tests for on site concrete strength assessment, *Situ.* (2005) 0–7.
15. Y. Senhadji, G. Escadeillas, A.S. Benosman, M. Mouli, H. Khelafi, S. Ould Kaci, Effect of incorporating PVC waste as aggregate on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete, *J. Adhes. Sci. Technol.* 29 (2015) 625–640.
16. R. Siddique, J. Khatib, I. Kaur, Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Manag.* 28 (2008) 1835–1852.
17. A.M. da Silva, J. de Brito, R. Veiga, Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars, *Constr. Build. Mater.* 71 (2014) 226–236.
18. H.C. Wu, P. Sun, New building materials from fly ash-based lightweight inorganic polymer, *Constr. Build. Mater.* 21 (2007) 211–217.
19. S. Zhutovsky, K. Kovler, Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete, *Cem. Concr. Res.* 42 (2012) 20–26.
20. EN 1097-6:2013. Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption. 2013.
21. EN 12390-6:2009. Testing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens. 2009.
22. EN 13055-1:2003. Lightweight aggregates - Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout. 2003.

COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH RECYCLED POLYETHYLENE AND EXPANDED CLAY AGGREGATES

Summary

The article analyses the possibility of using high and low density polyethylene waste as a filler in lightweight concrete and the comparison of lightweight concrete properties made of polyethylene waste and expanded clay aggregates. Hydration kinetics studies of concrete specimens with different aggregates were performed using ultrasonic pulse velocity measurements. The aggregates of high and low density polyethylene plastic waste with low water absorption and water resistant surface were used for the experimental study. It was determined that the growth rate of the strength of concrete with low water absorption plastic waste aggregates after 7 days of hardening decreased significantly. The density of these samples is 1950–2021 kg m³ and the compressive strength is not less than 42 MPa. Using pre-moistened expanded clay aggregate with a similar cement mortar composition, the concrete density was 1900 kg/m³ and the compressive strength was up to 70.2 MPa. Although, the mechanical properties of pre-moistened expanded clay are similar to those of plastic aggregate waste; pre-moistened expanded clay provides a better hydration process for cement, so lightweight concrete absorbs less water, expanded clay aggregate provides a better cement hydration process, more dense structure, making lightweight concrete less water absorbing.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Kipras Zinkevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: statybos inžinerijos bakalaurs.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedros magistrantas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gelžbetoninių konstrukcijų mechanika, inovatyvios medžiagos konstrukcijoms.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8626 64235, kipras.zinkevicius@stud.vilniustech.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Deividas Rumšys.

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: UAB „SRP projektas“, Tiltų skyriaus inžinierius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: lengvojo betono konstrukcijos, konstrukcijų skaitinis modeliavimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8614 94103, deividas.rumsys@gmail.com.

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Bačinskas.

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktaras, profesorius.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedros profesorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gelžbetoninių konstrukcijų fizikinis modeliavimas ir skaitinė analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8674 23717, darius.bacinskas@vilniustech.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Edmundas Spudulis.

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto Statybinių medžiagų instituto Kompozitinių medžiagų laboratorijos mokslo darbuotojas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinių medžiagų tyrimai ir analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8678 22854, edmundas.spudulis@vilniustech.lt .

Autoriaus vardas, pavardė: Jurgita Malaiškienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktarė, docentė.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto Statybinių medžiagų instituto Kompozitinių medžiagų laboratorijos vyresnioji mokslo darbuotoja.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinių medžiagų tyrimai ir analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 618 03649, jurgita.malaikiene@vilniustech.lt.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Kipras Zinkevičius.

Science degree and name: BSc in Civil Engineering.

Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Civil Engineering, Master student at the Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnical Engineering.

Author's research interests: mechanics of reinforced concrete structures, innovative materials for structures.

Telephone and e-mail address: +370 626 64235, kipras.zinkevicius@stud.vilniustech.lt .

Author name, surname: Deividas Rumsys.

Science degree and name: PhD in Technological Sciences.

Workplace and position: SRP projektas UAB, Engineer at the Department of Bridges

Author's research interests: lightweight concrete structures, numerical modelling of structures

Telephone and e-mail address: +370 614 94103, deividas.rumsys@gmail.com .

Author name, surname: Darius Bačinskas.

Science degree and name: PhD in Technological Sciences.

Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Civil Engineering, Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnical Engineering.

Author's research interests: constitutive modelling and numerical analysis of reinforced concrete structures.

Telephone and e-mail address: +370 674 23717, darius.bacinskas@vilniustech.lt .

Author name, surname: Edmundas Spudulis.

Science degree and name: PhD in Technological Sciences.

Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Civil Engineering, Institute of Building Materials, Research Fellow at the Laboratory of Composite Materials.

Author's research interests: testing and analysis of building materials.

Telephone and e-mail address: +370 678 22854, edmundas.spudulis@vilniustech.lt .

Author name, surname: Jurgita Malaiškienė.

Science degree and name: PhD in Technological Sciences.

Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Civil Engineering, Institute of Building Materials, Senior Research Fellow at the Laboratory of Composite Materials.

Author's research interests: testing and analysis of building materials.

Telephone and e-mail address: +370 618 03649, jurgita.malaikiene@vilniustech.lt .