

BETONO ATLIEKŲ ANTRINIS PANAUDOJIMAS GAMINANT UŽPILDUS NORMALIAJAM BETONUI

Tautvydas UMBRASAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas tautvydas.umbrasas@vdu.lt

Santrauka

Betono gamyboje naudojamas cementas, vanduo bei stambieji ir smulkieji užpildai. Didžiausią dalį betone sudaro užpildai: smėlis, žvirgždas, žvirgždo skalda ar skalda, kurie yra neatsinaujinantys gamtiniai išteklių. Dėl šios priežasties išgaunant resursus negrįžtamai pakeičiamas žemės reljefas, daroma neigiama įtaka bioįvairovei. Statybos procesas sukuria didelius kiekius atliekų (griovimo atliekos, nepanaudoti statybinių medžiagų likučiai), kurie galėtų būti panaudoti dar kartą. Vienas iš būdų – panaudoti betono atliekas užpildų gamyboje. Atliekant tyrimus buvo įvertinta betono atliekų įtaka naujo betono mišinio savybėms, nustatyta įtaka sukietėjusio betono savybėms (tankiui, gniuždymo stipriui, vandens įgeriamumui, atsparumui šalčiui). Tyrimams buvo naudojamas susmulkintas ir frakcionuotas betonas kaip smulkus ir stambus užpildas, jį įmaišant į betono sudėtį skirtingais kiekiais.

Reikšminiai žodžiai: betonas, atliekos, gniuždymo stipris, atsparumas šalčiui.

Įvadas

Betonas yra viena iš seniausių ir svarbiausių statybinių medžiagų. Įvairios paskirties pastatams, hidrotechnikos statiniams ir įvairiems kitos paskirties statiniams betonas naudojamas jau nuo XVIII a. vidurio. Betono gamyba susijusi su nemažais gamybos kaštais, pradedant nuo žaliavų gavybos, betono ruošos ir baigiant produkto transportavimu. Todėl labai svarbu visuose gamybos etapuose energijos sąnaudas sumažinti iki minimumo.

Labai svarbu kuo intensyviau mažinti gamtinių išteklių vartojimą, kad jų išliktų ateities kartoms. Analizuojama, kaip būtų galima racionaliau panaudoti statybines atliekas vietoje gamtinių išteklių. Tam tinkamiausias būdas perdirbti jas ir panaudoti naujojo betono gamyboje. Tačiau ne visos statybinės atliekos yra tinkamos betonui gaminti, nes kai kurios gali labai turėti didelės įtakos betono pagrindinėms savybėms, taigi tuomet jos bus neracionaliai panaudojamos.

Tokie dalykai kaip gamtiniai išteklių (smėlis, žvyras) yra riboti, o būtent statyba juos eikvoja masiškai. Tinkamai perdirbtas betono ir gelžbetonio atliekas galima naudoti statybose, tvarkant vietinius kelius ir gaminant naująjį betoną. Europos Sąjungos ir Lietuvos teisės aktai taip apibrėžia atliekas: „atliekos – medžiaga ar objektas, kurio turėtojas atsikrato, ketina ar privalo atsikratyti“ (Direktyva 2008/98/EB, Atliekų įstatymas Nr. VIII–787).

Betoninių ir gelžbetoninių atliekų perdirbimo ir tvarkymo klausimai yra labai aktualūs šiais laikais, nes vis daugiau yra griauinama senų pastatų, o statybos atliekoms skiriama ne tiek daug dėmesio. Mažinant energetinių kaštų suvartojimą, dažnai betono gamybai yra naudojamos statybinės atliekos, o Lietuvoje betono atliekų panaudojimas yra silpnai išvystytas ir žinant, kad gamtiniai išteklių yra riboti, ši perspektyva tampa vis aktualesnė.

Atliekų panaudojimas betono gamybos procese nėra nauja idėja. Daugelis mokslininkų išbandė įvairias pramonės ir statybos atliekas pakeičiant dalimi cemento ar užpildų. Iš statybinių atliekų daugiausia dėmesio skirta betono ir keramikos atliekų antriniam panaudojimui pakeičiant dalį užpildų. Vieni iš mokslininkų (F. Debieb et al., 2008) savo tyrimuose nustatė, kad dalį stambiųjų užpildų pakeičiant trupintų keraminių plytų atliekomis naujojo betono tankis sumažėja apie 17 %, o gniuždymo stipris – iki 35 %. Dar prastesnius rezultatus gavo mokslininkai iš Lenkijos, kurie naudojo sanitarinių prietaisų keramikos atliekas, šiuo atveju gniuždymo stiprio sumažėjimas siekė 46 %. Tačiau yra gauti ir priešingi tyrimų rezultatai, kai pakeičiant nedidelę dalį stambiųjų užpildų (iki 20 %) keraminėmis atliekomis galima gauti teigiamą efektą, kai betono savybės nepakinta arba netgi šiek tiek pagerėja (Awoyera et al., 2018; Keshavarz et al. 2019; Skominas ir kt., 2021). Betoninių konstrukcijų ardymo atliekų, panaudojimas pakeičiant smulkius ir stambius užpildus taip pat turi neigiamos įtakos betono tankiui, stipriui ir vandens įgeriamumui. Tą patvirtina nemažai atliktų tyrimų (Akhtar et al., 2018; Devi et al., 2021; Liu et al., 2022; Patra et al., 2022), kurie patvirtina galimybę naudoti tokio tipo atliekas naujojo betono gamyboje, tačiau nedideliais kiekiais (iki 20 %). Išanalizavus kitų mokslininkų atliktus tyrimus pasigendama betono atliekų tinkamumo įvertinimo betonui, kuris būtų naudojamas hidrotechnikos statinių statyboje.

Tyrimo tikslas – ištirti betono atliekų panaudojimo galimybes, gaminant betoną hidrotechnikos statiniams.

Tyrimo uždaviniai:

1. Įvertinti betono atliekų įtaką betono mišinio savybėms;
2. Nustatyti betono atliekų įtaką naujojo betono gniuždymo stipriui;
3. Nustatyti betono atliekų įtaką naujojo betono atsparumui šalčiui.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektu pasirinktas – C30/37 klasės betonas, kurio gamyboje kaip užpildo dalis buvo naudojamos smulkintos betono plokščių atliekos, kurios buvo įmaišomos keičiant stambaus užpildo kiekius proporcingai. Buvo pasirinkti tokie keičiamų užpildų kiekiai: 10, 30, 50, 70 ir 100 % . Tyrimams buvo pasirinkta C30/37 betono klasė, tinkama hidrotechnikos statiniams.

Tyrimuose betonas buvo naudojamas tokios sudėties:

- Cementas (CEM II/A-LL 42,5 N) – 363 kg;
- Smėlis (0-4 mm) – 988 kg;
- Granitinė skalda (4-16 mm) – 915 kg;
- Vanduo – 210 l V/C = 0,58;
- Superplastiklis – 2,47 g.

Pradžioje šešių skirtingų sudėčių betonui buvo atlikti konsistencijos tyrimai pagal LST EN 12350-2 2019 standarte pateiktą metodiką. Sukietėjusio betono bandymams buvo pagaminti 54 standartinių matmenų (100×100×100 mm) betono bandiniai.

Jie buvo gaminami VDU Statinių ir statybinių medžiagų laboratorijoje, naudojantis visa ten esančia specialia įranga: metalinė kūginė forma (nupjautas kūgis be dugno) su rankenomis, metalinis suapvalintais galais 16 mm skersmens, 600 mm ilgio strypas, milimetrinė liniuotė, semtuvas, mūrininko mentelė, betono maišyklė, 2 l talpos indas ir 100x100x100 mm bandinių formavimo indai. Iš viso buvo pagamintos 6 betono mišinio partijos, iš jų viena buvo kontrolinė. Ji apskaičiuota ir paruošta pagal betono 30/37 klasę. Iš visų partijų, įskaitant ir kontrolinę, buvo pagaminta po 9 bandinius.

Pirmoji betono mišinio partija yra kontrolinė, kuri atitinka betono klasę 30/37. Antrosios partijos sudėtį sudarė 90 % stambaus ir smulkiausio užpildo ir 10 % betono atliekų užpildo, trečios partijos – 70 % ir 30 %, ketvirtos partijos – 50 % ir 50 %, penktos partijos – 30 % ir 70 %, o šeštąją partiją sudarė 100 % betono atliekų užpildo.

Bandiniai buvo liejami specialiose formose, išteptose alyva, ir sutankinti vibraciniu prietaisu ir uždengti nereaguojančia su cementu medžiaga. Po paros iš specialių formų bandiniai buvo išimami ir panardinami į vandenį ir laikomi 28 paras. Praėjus kietėjimo laikotarpiui buvo atliekami laboratoriniai tyrimai, kuriais buvo nustatomas betono tankis, gniuždymo stipris ir vandens įgeriamumas.

Sukietėjusio betono tankis buvo nustatytas pagal LST EN 12390-7:2019 standarte pateiktą metodiką. Standarte nurodyti 3 galimi bandinių masės nustatymo būdai, bei 2 bandinių tūrio nustatymo būdai. Šiame tyrime buvo naudojama vandenyje laikytų bandinių masė, o bandinių tūris apskaičiuotas pagal faktinius bandinių matmenis.

Betono stipriui gniuždamas įtakos turi įvairūs veiksniai, pvz., cemento, užpildų kokybė ir kiekis, betono kietėjimo trukmė ir vandens kiekis. LST EN 12390-3:2019 standarte nurodytu metodu buvo atliekamas betono gniuždomojo stiprio nustatymas. Bandymai buvo atliekami naudojant hidraulini presą. Iš kiekvienos betono mišinio partijos buvo atrinkta po 6 taisyklingos formos bandinius kurie buvo sugniuždyti. Iš viso buvo sugniuždyti 36 bandiniai, iš kurių 6 buvo kontroliniai.

Vandens įgeriamumas buvo nustatomas naudojantis LST EN 13369:2018 standarte pateikta metodika. Šiam tyrimui buvo panaudota 18 bandinių, t. y. po 3 iš kiekvienos betono partijos. Tyrimui atlikti buvo naudojamas didelis indas betono bandiniams sudėti ir užmerkti, svarstyklės ir džiovinimo spinta.

Betono atsparumas šalčiui apskaičiuotas vadovaujantis tuometinio Lietuvos žemės ūkio universiteto Statybinių konstrukcijų katedros mokslininkų kolektyvo (Vaišvila ir kt., 2004) sukurta metodika. Pirmiausia, priklausomai nuo betono vandens įgeriamumo ir gniuždymo stiprio, apskaičiuotas empirinis šalčio ciklų skaičius:

$$n = m \cdot \Delta f_c^k (1),$$

čia n – šalčio ciklų skaičius;

m ir k – koeficientai, pasirinkti iš mokslinėje publikacijoje (Vaišvila ir kt., 2004) pateiktų priedų. Apskaičiavus empirinę reikšmę atsparumas šalčiui perskaičiuotas į standartinį šalčio ciklų skaičių F , pagal šią formulę:

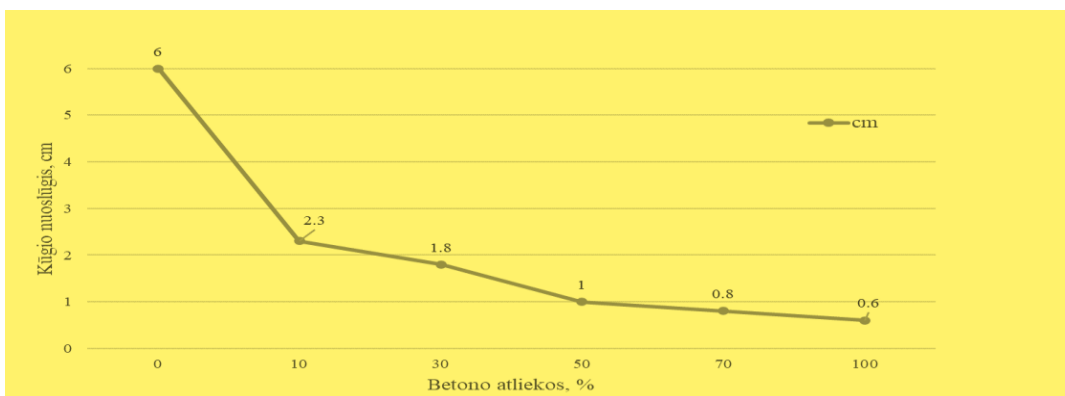
$$F = 34,848 \cdot n^{0,6157} (2),$$

čia F – standartinių bandymo šalčio ciklų skaičius, po kurių bandinių stipris sumažėja ne daugiau kaip 5 %;

n – šalčio ciklų skaičius, apskaičiuotas pagal formulę (1), kai $\Delta f_c = 5\%$.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

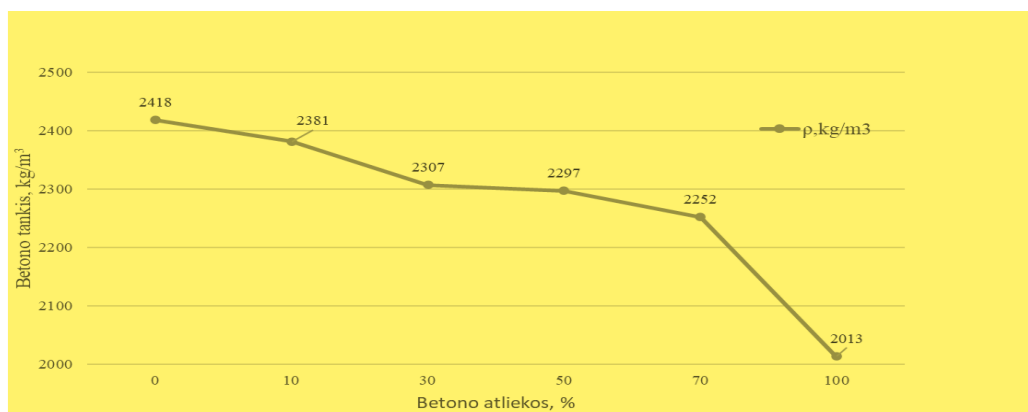
Atlikus betono konsistencijos tyrimus pagal kūgio nuoslūgį nustatyta, kad betono sudėtyje pakeitus 10 % užpildų senojo betono atliekomis betono slankumas žymiai sumažėja (1 pav.). Tokiam efektui įtakos turėjo betono atliekų didesnis vandens įgeriamumas nei smėlio dalelių ir granitinės skaldos, dėl to mišinys tapo sausesnis. Toks reiškinys betonui yra neigiamas, kadangi tai gali apsunkinti tinkamą betono sutankinimą, galimi defektai dėl nepakankamo sutankinimo, ypač tankiai armuotose konstrukcijose. Norint išvengti šio efekto, būtina koreguoti betono sudėtį superplastikliais arba didesniu vandens kiekiu. Pastarasis variantas pablogintų kitas betono savybes. 4098_Nalivaika_372_377.pdf



1 pav. Statybinių atliekų įtaka betono konsistencijai

Fig. 1. The influence of construction waste on concrete consistency

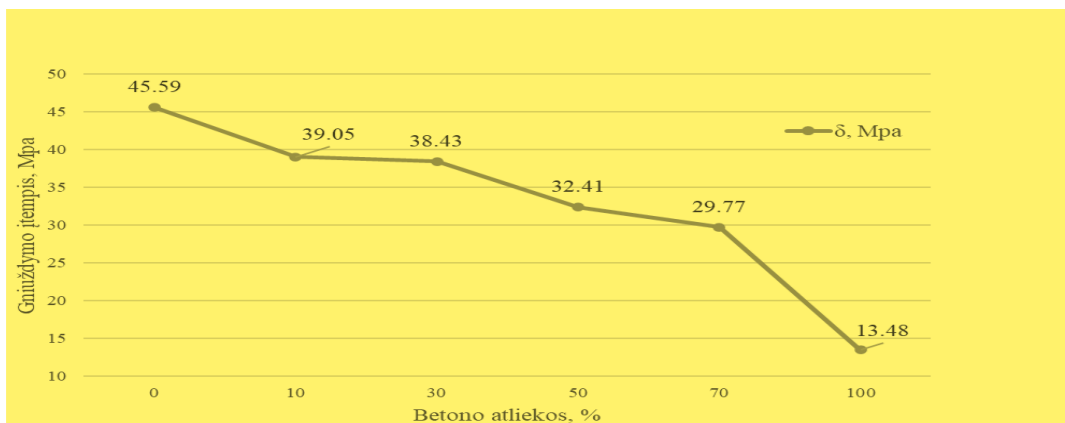
Vertinant sukietėjusio betono tankį nustatyta, kad betono užpildų pakeitimas smulkintomis seno betono atliekomis turi neigiamos įtakos šiai savybei (2 pav.). Ryškiausias betono tankio sumažėjimas užfiksuotas visiškai pakeitus užpildus atliekomis, kai tankis gautas tik kiek didesnis nei 2000 kg/m^3 . Tankio mažėjimą nulėmė didėjantis betono atliekų, kurių tankis (apie 2400 kg/m^3) yra mažesnis nei granito (apie 2700 kg/m^3), kiekis bandiniuose. Mažėjantis betono tankis gali didinti vandens įgeriamumą, taip pat mažinti atsparumą šalčiui.



2 pav. Statybinių atliekų įtaka sukietėjusio betono tankiui

Fig. 2. The influence of construction waste on the density of hardened concrete

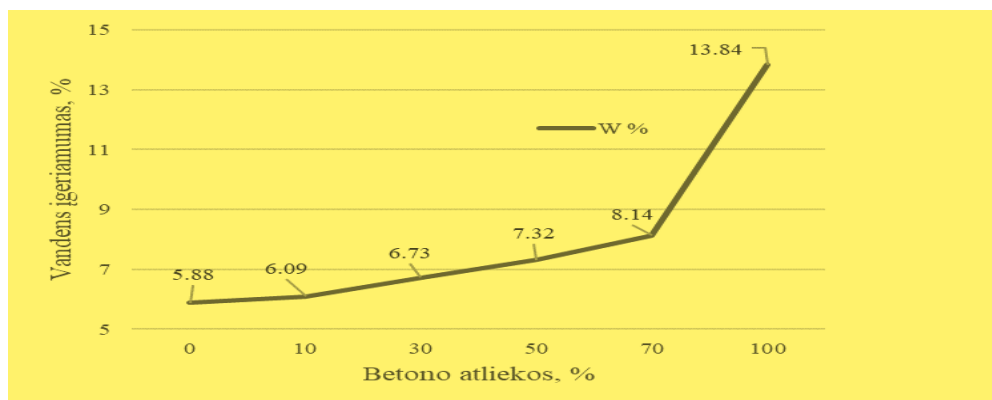
Betono stipris yra pati svarbiausia betono savybė. Bandymais buvo nustatinėjama, kaip statybinės betono atliekos, naudojamos vietoje gamtinių užpildų, paveiks betono gniuždymo stiprį. Tyrimams buvo naudojami standartiniai $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ dydžio betono kubeliai. Iš kiekvienos betono sudėties partijos buvo naudojama po šešis bandinius, iš viso buvo sugniuždyti 36 bandiniai. Gauti rezultatai parodė (3 pav.), kad didinant statybinių betono atliekų kiekį vietoje natūralių užpildų turėjo neigiamą įtaką betono stipriui. Kontrolinių betono bandinių klasę pagal stiprį gauta C30/37, pakeitus 10 % užpildų, betono klasė sumažėjo iki C25/30, su 30 % statybinių betono atliekų stipris išliko panašus kaip su 10 %, su 50 % sumažėjo iki C20/25, su 70 % stipris nekito, o su 100 % matomas ryškus pokytis į neigiamą pusę – betono klasė sumažėjo net iki C8/10.



3 pav. Statybinių atliekų įtaka betono gniuždymo stipriui

Fig. 3. The influence of construction waste on the compressive strength of concrete

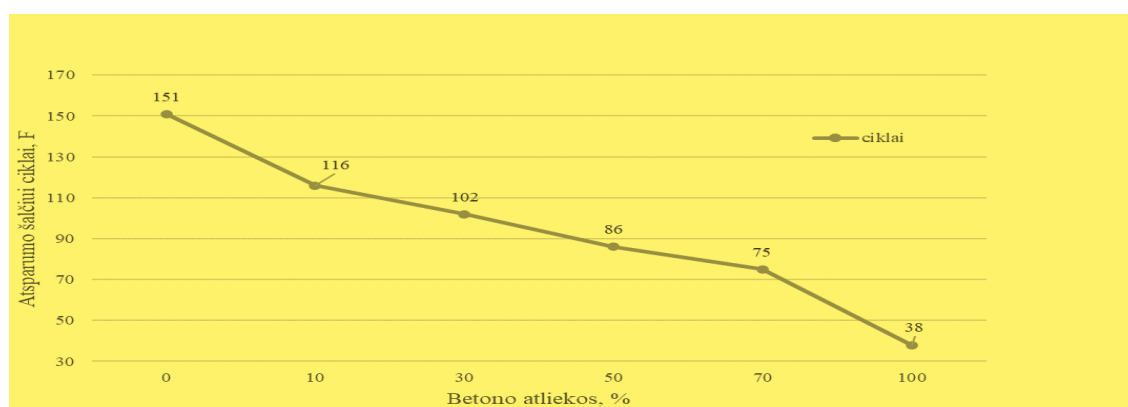
Vandens įgeriamumas – tai labai svarbi betono savybė. Nuo jo priklauso, ar betonas bus atsparus šalčiui, taigi būtent kuo mažiau betonas įgers vandens, tai tuo jis bus atsparesnis šalčiui. Šio tyrimo pagrindinis tikslas yra sužinoti, kaip betono atliekos, kurios naudojamos palaipsniui pakeičiant stambius ir smulkius užpildus, veiks vieną iš pagrindinių betono savybių – vandens įgeriamumą. Šis bandymas buvo atliekamas su standartiniais 100×100×100 mm dydžio bandiniais. Šiam tyrimui buvo naudojama po tris kubelius iš kiekvienos bandinių partijos, rezultatai yra pateikti grafike (4 pav.). Pagal gautus rezultatus matyti, kad vandens įgeriamumas didėjo, didinant betono atliekų kiekį. Pakeitus iki 30 % gamtinių užpildų betonas gali būti naudojamas hidrotechnikos statinių povandeninėms ir antžeminėms konstrukcijoms, kadangi vandens įgeriamumas nesiekia 7 %. Ryškus pokytis matyti pakeitus 100 % gamtinių užpildų ir siekia 13,8 %. Tokio betono naudojimo perspektyvos gali būti mažai drėgnos sausos terpės, pastovios temperatūros.



4 pav. Statybinių atliekų įtaka betono vandens įgeriamumui

Fig. 4. The influence of construction waste on the water absorption of concrete

Atlikus atsparumo šalčiui skaičiavimus (5 pav.) nustatyta, kad pakeitus 10 % užpildų atliekomis, betono atsparumo šalčiui markė nuo F150 sumažėja iki F100, o pakeitus 50 ar 70 % užpildų – iki F75. Visiškai pakeitus užpildus atliekomis betono atsparumo šalčiui markė siekia tik F25. Įvertinus tai galima teigti, kad betonas su dalinai pakeistais užpildais (iki 30 %) gali būti naudojamas tik tose vietose, kur minimalus atsparumas šalčiui.



5 pav. Statybinių atliekų įtaka betono atsparumui šalčiui

Fig. 5. The influence of construction waste on the frost resistance of concrete

IŠVADOS

1. Užpildai, pagaminti iš betono atliekų, turėjo įtakos betono konsistencijai. Betonas iš slankaus (S2 klasė) tapo plastišku (S1 klasė). Todėl norint gauti reikiamos slankumo klasės betoną jo sudėtis turi būti koreguojama.
2. Betono atliekos turėjo įtakos betono gniuždymo stipriui. Betono bandinių stiprio klasė, pakeitus iki 30 % gamtinių užpildų, sumažėjo nuo C30/37 iki C25/30.
3. Betono užpildų pakeitimas smulkinto seno betono atliekomis turėjo neigiamą įtaką betono atsparumui šalčiui. Pakeitus iki 30 % gamtinių užpildų, atsparumo šalčiui markė nuo F150 sumažėjo iki F100.
4. Įvertinus visus rezultatus rekomenduojama gamtinius užpildus keisti iki 30 % smulkintomis betono atliekomis, tačiau turi būti įvertintas betono gniuždomo stiprio ir atsparumo šalčiui sumažėjimas.

LITERATŪRA

1. Akhtar, A., Sarmah, A. K. 2018. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 186, p. 262–281.

2. Awoyera, P. O., Ndambuki, J. M., Akinmusuru, J. O., Omole, D. O. 2018. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. *HBRC Journal*, Vol. 14, p. 282–287.
3. Debieb, F., Kenai, S. 2008. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, p. 886–893.
4. Devi, S. V., Gausikan, R., Chithambaranathan, S., Jeffrey, J. F. 2021. Utilization of recycled aggregate of construction and demolition waste as a sustainable material. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, p. 6649-6654.
5. Lietuvos Respublikos Seimas 1998m., Vilnius. Įsakymas Nr. VIII–787. Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8D38517814F1>
6. Keshavarz, Z., Mostofinejad, D. 2019. Porcelain and red ceramic wastes used as replacements for coarse aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 195, p. 218-230.
7. Liu, Z., Yuan, X., Zhao, Z., Chew, J. F., Wang, H. 2022. Concrete waste-derived aggregate for concrete manufacture. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 338, ID 130637.
8. LST EN 12350-2 2019. Betono mišinio bandymai. 2 dalis. Slankumo bandymas.
9. LST EN 12390-3 2019. Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris.
10. LST EN 12390-7 2019. Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis.
11. LST EN 13369 2018. Betonai. Bendrosios surenkamųjų betoninių gaminių taisyklės.
12. Patra, I., Al-Awsi, G. R. L., Hasan, Y. M., Almotlaq, S. S. K. 2022. Mechanical properties of concrete containing recycled aggregate from construction waste. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 53.
13. Skominas, R., Sas, W., Głuchowski, A., Šadzevičius, R., Ramukevičius, R. 2021. Possibilities to reuse a ceramic waste as concrete aggregates. *International Conference "Rural development" 2021" Proceedings*.
14. Vaišvila, A. K., Ramonas, Č., Mikuckis, F., Gurskis, V. 2004. Hidrotechninių statinių betono stipris veikiant šalčiui. *Vagos*, p. 102–111.

SECONDARY USE OF CONCRETE WASTE IN MANUFACTURING AFTER FILLING NORMAL CONCRETE

Summary

Concrete is made using cement, water, coarse and fine aggregates. The aggregates used in concrete are mainly sand, pebbles or crushed stone, which are non-renewable natural resource. As a result, the extraction of these resources irreversibly alters the terrain of the land and has a negative impact on biodiversity. Meanwhile, the construction process generates large quantities of waste (demolition waste, unused leftover building materials) that could be reused. One way to use concrete waste is in the production of aggregates. Studies have evaluated the influence of concrete waste on the properties of the new concrete mix and the influence on the properties of hardened concrete (density, compressive strength, water absorption, frost resistance). Crushed and fractionated concrete was used as fine and coarse aggregate, with different amounts being added to the concrete composition.

Keywords: concrete, waste, compressive strength, frost resistance.