

САВРЕМЕНИ КОМПОЗИТИ ЗА ЗИДАЊЕ СА КЕРАМИЧКИМ ПРАХОМ CONTEMPORARY MASONRY COMPOSITES BLENDED WITH CERAMIC POWDER

Момчило Братић, Слободан Шупић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Рад се састоји из истраживачког и практичног дела. У оквиру истраживачког дела дат је увид о врсти, настанку, количини, управљању и могућој примени отпада од грађења и рушења. У практичном делу се говори о настајању, својствима и примени керамичког отпада као нуспродукта током производње керамичких материјала. Посебно је посвећена пажња примени керамичког праха као замене дела цемента у производњи иновативних, еколошки подобнијих малтера за зидање и малтерисање. Сprovedено је и експериментално истраживање, где је урађена карактеризација материјала, као и испитивање својстава свежег и очврслог малтера за 10 различитих малтерских мешавина, у којима је вариран запремински однос чврстих компоненти и ниво супституције цемента керамичким прахом (до 80%).

Кључне речи: отпад од грађења и рушења, керамички прах, замена цемента, еко-малтери.

Abstract – The work consists of a research and a practical part. The research part provides insight into the types, origins, quantities, management, and possible applications of construction and demolition waste. The practical part discusses the origin, properties, and application of ceramic waste as a by-product during the production of ceramic materials. Special attention is given to the use of ceramic powder as a cement substitute in the production of innovative, eco-friendly mortars for masonry and plastering. Own experimental research included the characterization of materials and testing of the properties of fresh and hardened mortar on 10 different mortar mixtures, in which the volume ratio of solid components and the level of cement substitution with ceramic powder (up to 80%) were varied.

Keywords: construction and demolition waste, ceramic powder, cement replacement, eco-friendly mortars.

1. УПРАВЉАЊЕ И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ГРАЂЕВИНСКОГ ОТПАДА

Отпад од грађења и рушења јесте отпад који настаје извођењем грађевинских и других радова на изградњи и рушењу објеката, адаптацијама, реновирању,

реконструисању стамбених, индустријских и других објеката, одржавању и замени инфраструктурних објеката, као и ископима за стамбену, индустријску и путну инфраструктуру. Врсте грађевинског отпада укључују минерални, метални, дрвени, пластични, стаклени, опасни, комбиновани отпад и отпад изолационих материјала. Отпад од грађења и рушења чини више од трећине укупног отпада који се ствара у ЕУ, а на основу тренутних количина и одабраних економских показатеља, очекује се да ће 2030. године у Републици Србији бити произведено најмање 2,4 милиона тона грађевинског отпада. Од тога највећи део чине бетон и керамика, не рачунајући земљу из ископа. Отпад и неадекватно управљање њиме представља један од највећих проблема са аспекта заштите животне средине Републике Србије, стога постоје значајни законски оквири и директиве који имају за циљ смањење количине отпада, његово правилно управљање и повећање стопе рециклаже.

Велике количине грађевинског отпадног материјала се могу поново искористити након процеса рециклаже и припреме за поновну употребу: рециклирани агрегати из бетонског отпада углавном се користе за изградњу путева и попуњавање земљишта, уз могућност примене у производњи бетона до 30% рециклираног агрегата, отпадно дрво се рециклира за производњу иверичних плоча, отпадни гипс се рециклира у нове гипсане плоче или користи у производњи цемента, рециклирана опека се користи за изградњу путева или као пуцоланска замена за цемент након додатне обраде, EPS изолација се обично рециклира у нову изолацију или лаке бетоне.

2. МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ КЕРАМИЧКОГ ОТПАДА

2.1. Настанак и потенцијал за поновну примену керамичког отпада

Керамички отпад може потицати из производње или демонтаже великог броја производа, као што су: зидне и подне плочице, опеке и кровне плочице, кућна керамика, санитарни инвентар, техничка керамика, стаклене глинене цеви, експандирани глинени агрегати, неоргански везани абразиви. На глобалном нивоу је процењено да се керамички отпад генерише у односу 15-30% од укупне количине током производње. И овај отпад загађује тло, ваздух и заузима простор за одлагање. Тренутно не постоји ефикасан начин за рециклажу овог отпада, а уз то он је робустан, дуготрајан и отпоран на хемијске утицаје.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био др Слободан Шупић, доцент.

Керамички отпад може обухватити широк спектар примена, као што су замена цемента, замена ситног и крупног агрегата у производњи бетона, материјал за испуну у изградњи путева, производња водонепропусних малтера и бетона, производња зидних и подних керамичких плочица.

2.2. Керамички прах

Млевењем керамичког отпада добија се фин материјал који се користи као замена за део цемента у грађевинским смешама, посебно у производњи малтера и бетона. Млевење керамичког отпада, као што су одбачене керамичке плочице или производни остаци, даје прах са пуцоланским својствима, што значи да може хемијски реаговати са калцијум-хидроксидом у присуству воде, формирајући хидраулично везиво. Овај процес омогућава рециклажу и смањење количине керамичког отпада, истовремено доприносећи смањењу негативног утицаја производње цемента на животну средину. Поред тога, керамички прах се може користити као замена за ситни агрегат у производњи бетона и малтера, чиме се постиже значајна уштеда природних ресурса.



Слика 1. Изглед керамичког праха

3. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА

3.1. Подаци о компонентним материјалима

Цемент

За експериментално истраживање одабран је обичан портланд цемент ознаке OPC 42,5R (CEM I 42,5R), порекла – фабрика цемента " Lafarge" у Беочину. Цемент испуњава услове квалитета према Правилнику о квалитету цемента. У Лабораторији за испитивање грађевинских материјала проверена су основна физичка и механичка својства цемента према стандардима SRPS EN 196-1, SRPS EN 196-3 и SRPS EN 196-6.

Агрегат

При пројектовању састава малтерских мешавина коришћен је речни фракционисани агрегат из реке Дрине (сепарација – Сремска Митровица), крупноће 0/4mm .

Минерални додаци (керамички прах)

Керамички прах је добијен из процеса производње керамичких блокова у производном постројењу NEXE Стражилово, Петровадин. Ови елементи су прво грубо дробљени, а затим фино самлевени у лабораторијском млину до одговарајућег степена финоће (финоћа блиска финоћи цемента).

Након припреме узорака керамичког праха испитана су њихова физичка својства: специфична маса, специфична површина по Блену, те механичка и пуцоланска својства: класа пуцоланске активности и индекс активности, према релевантним стандардима.

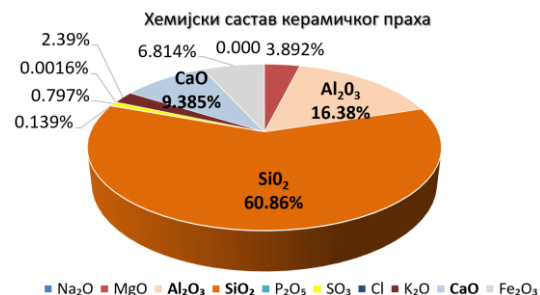
Испитивање класе пуцоланске активности је приказано на слици 2. Малтери су припремљени од хидратисаног креча, керамичког праха и стандардног кварцног песка са следећим масеним односима: 1: 2: 9, респективно, и водовезивним односом 0,5. Испитивањем је постигнута висока класа пуцоланске активности – класа 10, што указује на то да је керамички прах показао способност да реагује са калцијум хидроксидом при чему су формирана нова хемијска једињења, што указује на његову пуцоланску активност. Ово својство чини керамички прах погодним за употребу у малтерима, као замена дела цемента.



Слика 2. Испитивање пуцоланске активности керамичког праха

Финоћа материјала је одређена као процентуални остатак керамичког праха на сити 0,045mm. У овом поступку испитивања – „Air Jet“ методом просејавања (просејавање ваздушним путем под притиском) у складу са процедуром датом у стандарду EN 933-10 – 50g материјала, претходно осушеног на 110 °C, се просејава на сито, почевши од сита са најмањим отвором (0,045mm), те се одређује процентуални остатак на сити. Имајући у виду јако мали процентуални остатак на сити 0,045mm, овим је потврђена јако велика финоћа млива материјала.

Испитивање хемијског састава керамичког праха, одређивање садржаја реактивног SiO₂, слободног CaO, растворљивих фосфата и елемената у траговима, урађено је у складу са стандардима: EN 196-2 и ISO 29581-2. Резултати су приказани на слици 3.



Слика 3. Хемијски састав керамичког праха

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ САСТАВА, СПРАВЉАЊЕ И ИСПИТИВАЊЕ СВОЈСТАВА ЕКОЛОШКИХ ПРОДУЖНИХ МАЛТЕРА

4.1. Пројектовање састава

У циљу проналаска оптималног састава еколошки подобнијег малтера за зидање, који се може користити у грађевинској пракси за зидање носећих и

неносећих конструкција, пројектован је састав и справљено је укупно 10 различитих малтерских мешавина. Односи мешања чврстих компоненти (по запремини у растреситом стању) су за референтни цементни малтер варијани на следећи начин: 1:1:5, 1:0,7:4,2 и 1:1:4 (цемент/креч/песак).

У групи малтера са запреминским односом 1:1:5, цемент је супституисан са 50% керамичког праха, а у преосталим групама ниво супституције цемента је вариран у процентима: 50%, 60% и 80%. Ознаке мешавина и састави за све малтерске мешавине су дате у табели испод.

Малтер	m_c (g)	m_k (g)	m_p (g)	m_{kp} (g)	w/b	m_v (g)
C1	161,4	74,0	1350	/	1,15	270,7
K1-50	80,7	74,0	1350	61,8	1,30	281,5
C2	193,7	59,2	1350	/	1,05	265,6
K2-50	96,9	59,2	1350	74,2	1,20	276,3
K2-60	77,5	59,2	1350	89,0	1,20	270,9
K2-80	38,7	59,2	1350	118,7	1,25	270,8
C3	201,8	92,5	1350	/	0,90	264,9
K3-50	100,9	92,5	1350	77,3	1,00	270,7
K3-60	80,7	92,5	1350	92,7	1,05	279,3
K3-80	40,4	92,5	1350	123,7	1,07	274,5

m_c -маса цемента; m_k -маса креча; m_p -маса песка;
 m_{kp} -маса керамичког праха; m_v -маса воде; w/b-
 водовезивни фактор.

Табела 1. Састав компоненти малтерских мешавина

4.2. Справљање малтера

Справљање малтерских мешавина извршено је у лабораторијском миксеру за малтере. Дозирање састојака и време мешања компоненти како би се постигле тражене карактеристике, као што су чврстоћа, обрадљивост и пријањање, обухвата стандард SRPS EN 998-2. Након мешања, узорци се ручно уграђују у калупе у два слоја и припремају за негу пре испитивања.



Слика 4. Поступак справљања малтера

4.3. Испитивање својстава свежег малтера

Конзистенција

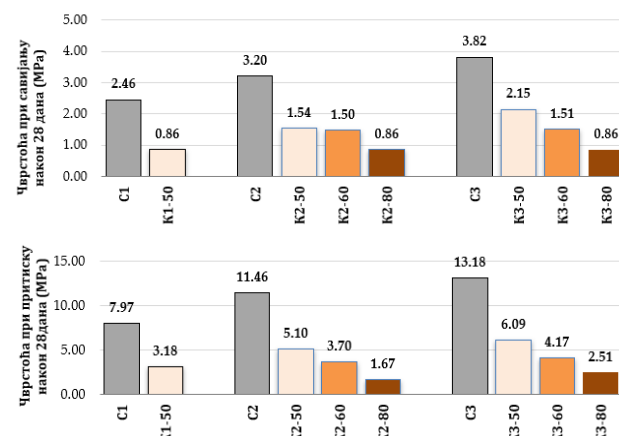
Конзистенција малтера се изражава као просечна вредност пречника круга малтера (у mm) након 15 удара потресног стола. Овај резултат указује на течност и обрадивост малтера. Са повећањем удела керамичког праха расте и водовезивни фактор, што је последица велике финоће млива керамичког праха, па је било потребно додати више воде у односу на

референтни малтер за постизање захтеване конзистенције од 175 ± 10 mm.

4.4. Испитивање својстава очврслог малтера

Чврстоћа малтера при савијању и притиску

Стандард EN 1015-11 прописује методе за испитивање чврстоће на савијање и чврстоће на притисак малтера за зидање. Чврстоћа на савијање узорака димензија 40x40x160mm је испитана на Михаилисовој ваги. Након испитивања узорака на савијање, свака половина поломљене призме се испитује на притисак у хидрауличној преси. Резултати испитивања наведених својстава су приказана на слици 5.

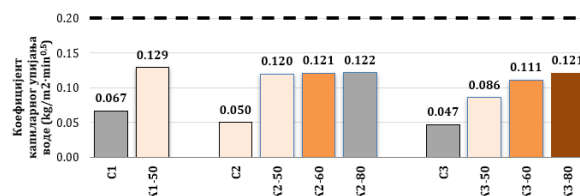


Слика 5. Резултати испитивања чврстоће малтера на савијање и притисак након 28 дана

Капиларно упијање воде очврслог малтера

Испитивање се спроводи у складу са SRPS EN 1015-18, а омогућава оцену постојаности малтера при дејству воде. На основу добијених резултата испитивања капиларног упијања воде (Слика 6), може се приметити да са заменом цемента и порастом удела керамичког праха расте вредност упијања воде, што је последица већег водовезивног фактора, па самим тим и веће капиларне порозности малтера. При старости од 90 дана, као резултат одложене пуцоланске реакције, накнадног формирања C-S-H продуката и згушњавања структуре композита, регистровано је смањење капиларног упијања.

Будући да сви малтери имају вредности капиларног упијања испод $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$, испуњавају услов за категорију W2, тако да је општи закључак да замена цемента керамичким прахом не утиче на промену категорије капиларног упијања воде.

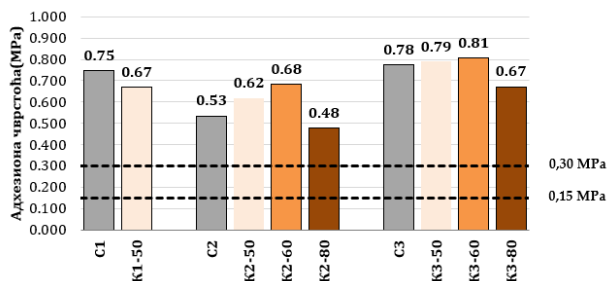


Слика 6. Вредности коеф. капиларног упијања воде након 90 дана за различите врсте малтера

Испитивање адхезије

Један од најважнијих захтева за малтер за зидање је адхезиона чврстоћа, јер недостатак или губитак

адхезије смањује интегритет конструкције и век трајања. Регулатива за малтере за малтерисање (SRPS EN 998-1) декларише минималну вредност од 0,3 MPa за употребу малтера за малтерисање, док регулатива за малтер за зидање (SRPS EN 998-2) захтева минималnu вредност од 0,15 MPa. Сви испитани малтери су испунили захтеве за примену за малтерисање и зидање.



Слика 7. Резултати испитивања адхезионе чврстоће

5. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани резултати сопственог експерименталног истраживања могућности примене керамичког праха, генерисаног уситњавањем отпада из керамичке индустрије Војводине, као потенцијалне замене дела цемента у савременим малтерима за зидање. На основу добијених резултата, могу се извести следећи закључци:

- ❖ Замена цемента керамичким прахом резултује падом обрадљивости малтерске мешавине, што је последица облика честица керамичког отпада након механичког уситњавања и веће апсорпционе моћи грубе грађевинске керамике. У циљу постизања захтеване конзистенције малтера за зидање а у којима је део цемента замењен керамичким прахом је додата одређена количина воде, те је повећан и водовезивни фактор.
- ❖ Повећање водовезивног фактора се негативно одразило на физичка и механичка својства малтера. Са повећањем нивоа замене цемента керамичким прахом, повећана је и капиларна порозност, што је резултовало већим капиларним упијањем воде и нижим механичким својствима малтера. Ипак, поједини малтери су задовољили услове за зидање носећих зидова (класа која одговара просечној чврстоћи при притиску малтера од 5 MPa). Са аспекта адхезије, показано је да замена цемента керамичким прахом нема велики утицај на анализирана својства малтера.
- ❖ Цемент је један од највећих глобалних емitera гасова стаклене баште. Замена дела цемента локално доступним материјалима је, у овом контексту заштите животне средине, врло пожељна.

На основу спроведеног прегледа литературе, као и резултата сопственог експерименталног истраживања закључује се да примена керамичког праха у оптималним количинама у производњи малтера за зидање не само да може пружити важне еколошке предности, већ може бити упоређива са конвенционалним малтерима на бази креча и цемента у смислу захтеваних перформанси.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о управљању отпадом, „Службени гласник РС”, [ЛИНК](#)
- [2] European Commission, Construction and demolition waste, [ЛИНК](#)
- [3] Techno-economic and environmental assessment of construction and demolition waste management in the European Union, [ЛИНК](#)
- [4] Mario C.: The use of ceramic waste aggregates in concrete: a literary review, 2014, [ЛИНК](#)
- [5] Bala B. Y., Sai K. G. E., Gedddada Y.: Study of concrete behavior by partial replacement of cement with Ceramic Waste Powder in the presence of Sisal fiber, Materials Today, 2023, [ЛИНК](#)
- [6] Alsaif A.: Utilization of ceramic waste as partially cement substitute – A review, Construction and Building Materials, 2021, [ЛИНК](#)
- [7] SRPS EN 196-1: Методе испитивања цемента - Део 1: Испитивање чврстоће. Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2008.
- [8] SRPS EN 196-6: Методе испитивања цемента - Део 6: Одређивање финоће млива. . Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2011.
- [9] SRPS EN 197-1: Цемент - Део 1: Састав, спецификације и критеријуми усаглашености за обичне цemente. Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2013.
- [10] SRPS EN 196-2:2013: Method of testing cement - Part 2: Chemical analysis of cement.
- [11] SRPS EN 998-2:2017: Спецификација малтера за зидање конструкције – Део 2: Малтер за зидање

Кратка биографија:



Момчило Братић рођен је 09.07.2000. у Требињу. Студент је мастер академских студија грађевинарства, смер конструкције. Тренутно је запослен у ГАТ ДОО. Контакт: braticmomcilo@gmail.com



Слободан Шупић рођен је 1989. године у Требињу. Од 2020. ради као доцент на Факултету Техничких Наука, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.