

Примена рециклираног бетона у префабрикованим грађевинским елементима

Application of Recycled Concrete in Prefabricated Construction Elements

Никола Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Грађевински сектор истовремено троши велике количине природних ресурса и генерише значајне количине грађевинског отпада, при чему бетонски шут чини важан део тог тока. Рециклирани бетон, најчешће кроз примену рециклираног бетонског агрегата (RCA), представља одрживо решење које омогућава смањење потребе за експлоатацијом природног агрегата и смањење одлагања отпада. У раду се анализира примена рециклираног бетона у префабрикованим елементима са фокусом на утицај RCA на обрадивост, механичка својства, дуготрајне деформације и трајност, као и на технолошке мере које обезбеђују стабилан квалитет у фабричким условима. Уз појачану контролу квалитета рециклирани агрегат се може поуздано користити у префабрикацији.

Кључне речи: рециклирани бетон, рециклирани агрегат, префабрикација.

Abstract – The construction sector consumes large amounts of natural resources while generating significant volumes of construction and demolition waste, with concrete rubble being a major fraction. Recycled concrete, primarily through recycled concrete aggregate (RCA), offers a sustainable pathway to reduce the use of virgin aggregates and minimize landfill disposal. This paper reviews the use of recycled concrete in prefabricated elements, focusing on workability, mechanical performance, long-term deformation, and durability, as well as on production measures that ensure consistent quality under factory conditions. With enhanced quality control, recycled aggregate can be reliably used in prefabrication.

Keywords: recycled concrete, recycled aggregate, prefabrication.

НАПОМЕНА: Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био проф. др Милан Тривунић

1. УВОД

Пораст реконструкција, рушења и инфраструктурних радова доводи до повећања количина грађевинског отпада, а бетонски отпад је међу најзаступљенијим фракцијама. Његова прерада у рециклирани бетонски агрегат (RCA) омогућава поновну употребу

материјала, али уводи и специфичности у понашању бетона због прионулог старог малтера, повећане порозности и веће водоупијања агрегата. Управо због тога, кључни изазов представља стабилност свежег бетона и контрола перформанси очврслог бетона. Префабрикација је повољан оквир за примену RCA јер фабрички услови омогућавају стандардизовано дозирање, контролу влаге, контролисано збијање и режиме неге. Истовремено, префабриковани елементи често имају строже захтеве у погледу поновљивости својстава и трајности, па се примена RCA мора заснивати на контроли процеса и јасним критеријумима прихватљивости

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Рад је теоријско-аналитичког карактера и заснива се на систематском прегледу и синтези релевантне научне и стручне литературе која се бави утицајем рециклираног бетонског агрегата на својства бетона, са посебним освртом на могућности његове примене у префабрикованим грађевинским елементима. Анализа обухвата преглед експерименталних, прегледних и компаративних студија које разматрају понашање бетона са различитим процентима замене природног агрегата рециклираним агрегатом. Литература је анализирана са циљем идентификовања кључних фактора који утичу на технолошка, механичка и трајносна својства бетона у условима контролисане фабричке производње.

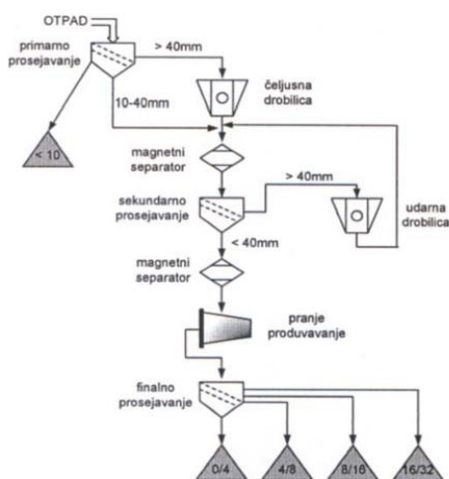
Посебан акценат стављен је на утицај карактеристика рециклираног агрегата, пре свега водоупијања и присуства прионулог цементног малтера, на обрадивост свежег бетона и развој притисне чврстоће. У том контексту разматране су и различите технолошке мере које се примењују ради ублажавања негативних ефеката повећане порозности РЦА.

У оквиру прегледа литературе анализирани су промене механичких својстава бетона, првенствено притисне чврстоће и крутости, у зависности од процента замене природног агрегата рециклираним агрегатом. Посебна пажња посвећена је поређењу резултата за ниске, средње и високе нивое замене, као и утицају оптимизације састава мешавине на остварене перформансе бетона.

Такође су разматрана питања трајности и дуготрајног понашања бетона са рециклираним агрегатом, укључујући отпорност на дејство спољашњих утицаја,

као и појаву скупљања и пузења. Анализа је усмерена на идентификовање услова под којима се могу постићи прихватљиви трајносни показатељи, нарочито у контексту префабрикации, где су режими збијања и неге стандардизовани.

На основу синтезе анализираних извора, издвојене су производне мере релевантне за примену у префабрикации, као што су предквашење рециклираног агрегата, корекција ефективног водоцементног односа, употреба хемијских и минералних додатака, као и увођење систематске контроле квалитета. Добијени налази коришћени су за формулисање практичних смерница и дискусију о могућностима поуздане примене рециклираног агрегата у префабрикованим бетонским елементима.



Слика 1. Технолошка шема процеса рециклаже бетона [1]

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1. Обрадивост и технолошка погодност у фабричким условима

Рециклирани крупни агрегат (RCA) карактерише веће водоупијање и израженија храпавост површине у поређењу са природним агрегатом, што се директно одражава на обрадивост свежег бетона. Повећано водоупијање последица је присуства прионулог цементног малтера и веће укупне порозности зрна, због чега део воде из мешавине постаје недоступан за формирање цементне пасте. Као резултат тога, при неадекватној контроли може доћи до смањења слампа, бржег губитка конзистенције и отежане уградње бетона. Истраживања указују да стање влаге природног и рециклираног агрегата значајно утиче на обрадивост и остварену притисну чврстоћу, па се контрола влаге, укључујући предквашење RCA, сматра једном од кључних мера за стабилан технолошки процес [2].

У префабрикации, где се производња одвија у поновљивим и контролисаним условима, управљање обрадивошћу има посебан значај. За разлику од градилишних услова, фабричка производња омогућава прецизно дозирање компонената, контролу времена мешања и транспорта, као и стандардизоване режиме збијања и неге. Тиме се смањује варијабилност између производних серија, што је нарочито важно код бетона са RCA, код којих је

осетљивост на промене у влажности агрегата израженија. Кратко време од мешања до уградње у калупе додатно умањује негативан утицај упијања воде и доприноси уједначеном понашању свежег бетона.

Поред класичних показатеља обрадивости, у префабрикации се посебна пажња посвећује способности бетона да испуни калупе, оствари добар квалитет ивица и задовољавајући површински изглед готових елемената. Храпава структура RCA може повећати унутрашње трење у свежој мешавини, што захтева прилагођавање гранулометријског састава, повећан удео ситних фракција или примену хемијских додатака. Увођење ових корективних мера у контролисаном фабричком окружењу омогућава постизање стабилне обрадивости и поузданог технолошког процеса.

3.2. Механичка својства

Бројна експериментална истраживања указују да повећање процента замене природног агрегата рециклираним агрегатом може довести до умереног смањења притисне чврстоће бетона.

Овај ефекат се углавном приписује слабијим механичким својствима прионулог цементног малтера на зрнима RCA и мање повољној контактної зони између агрегата и нове цементне пасте. Смањење чврстоће је најчешће израженије при високим нивоима замене, док су при ниским и средњим уделима RCA разлике у односу на референтни бетон знатно мање.

Прегледна истраживања показују да бетон са ниским и средњим процентима замене природног агрегата RCA-ом може остварити притисне чврстоће које су довољне за велики број конструктивних и неконструктивних примена, под условом да је састав мешавине правилно пројектован [3]. У том контексту, значајну улогу имају оптимизација водоцементног односа, избор одговарајуће гранулометријске криве и примена додатака који побољшавају структуру цементне пасте.

У префабрикации је питање механичких својстава уско повезано са захтевима за поновљивост и контролу квалитета. Многи префабриковани елементи не захтевају екстремно високе вредности притисне чврстоће, већ стабилне и предвидиве механичке карактеристике које омогућавају сигурну производњу, складиштење и транспорт. У том смислу, умерено смањење чврстоће које се јавља код бетона са RCA може бити прихватљиво, посебно када се надокнади бољом контролом процеса и доследношћу производње у фабричким условима.

3.3. Трајност и дуготрајне деформације

Трајност бетона са рециклираним агрегатом често се истиче као један од критичних аспеката његове примене, првенствено због веће порозности и водоупијања RCA. Ове карактеристике могу довести до повећане пропустљивости бетона, што потенцијално утиче на отпорност на дејство мрза и одмрзавања, продор хлорида и брзину карбонизације. Дуготрајне деформације, као што су скупљање и пузање, такође могу бити израженије услед слабије

крутости агрегата и већег учешћа порозних зона у структури бетона. Међутим, истраживања која разматрају истовремену употребу финог и грубог рециклираног агрегата указују да се, уз пажљиво пројектовање мешавине, може постићи прихватљив ниво трајности и дуготрајних својстава, нарочито при умереним процентима замене [4].

Оптимизација садржаја цемента, примена минералних додатака и одговарајући режими неге имају значајну улогу у смањењу негативних ефеката повећане порозности.

Фабрички услови производње додатно доприносе побољшању трајности бетона са RCA. Контролисано збијање и стандардизована нега омогућавају формирање гушће микроструктуре и смањење капиларне порозности, чиме се умањују потенцијални негативни утицаји рециклираног агрегата на дугорочно понашање бетона. Тиме се повећава поузданост префабрикованих елемената израђених са делимичном или потпуном заменом природног агрегата.

3.4. Практичне смернице за увођење у префабрикацију

За индустријску примену бетона са рециклираним агрегатом препоручује се постепена имплементација, уз јасно дефинисане критеријуме пријема RCA. Ови критеријуми обухватају контролу гранулометријског састава, нивоа контаминације, запреминске масе и водоупијања агрегата. Посебна пажња мора се посветити контроли влаге агрегата и прилагођавању рецептуре бетона како би се обезбедила стабилна обрадивост и уједначена механичка својства.

Прегледне анализе употребе рециклираног агрегата наглашавају да су систематска контрола квалитета и стандардизација производног процеса кључни услови за поуздану примену у пракси [5].

Префабрикација представља посебно погодно окружење за увођење ових мера, јер омогућава интегрисање контролних тачака у постојећи систем производње. На тај начин се смањује технолошки ризик и стварају предуслови за ширу примену рециклираног агрегата у префабрикованим грађевинским елементима.



Слика 2. Префабрикациона хала са бетонским елементима у фази очвршћавања [6].

4. ЗАКЉУЧАК

На основу прегледа релевантне научне и стручне литературе и анализе кључних утицаја рециклираног бетонског агрегата на својства бетона, може се закључити да примена рециклираног бетона у префабрикованим грађевинским елементима представља технички изводљиву и функционално оправдану опцију, нарочито у случајевима делимичне замене природног агрегата. Анализирани резултати указују да негативни ефекти повезани са већим водоупијањем и порозношћу рециклираног агрегата могу бити значајно умањени применом одговарајућих технолошких мера у фази пројектовања и производње бетона.

Контрола влаге и водоупијања рециклираног агрегата идентификована је као један од кључних фактора поузданости, јер директно утиче на обрадивост свежег бетона, развој механичких својстава и уједначеност квалитета готових елемената. Оптимизација састава мешавине, укључујући корекцију ефективног водоцементног односа и примену одговарајућих додатака, омогућава постизање механичких својстава и трајности који су прихватљиви за широк спектар префабрикованих производа.

Префабрикација, као облик производње у контролисаним фабричким условима, показује посебне предности у примени рециклираног агрегата због могућности стандардизације процеса, поновљивости производних серија и систематске контроле квалитета. Овакав производни оквир омогућава постепено увођење рециклираног агрегата кроз унапред дефинисане нивое замене, уз спровођење пробних серија и континуирано праћење перформанси бетона и готових елемената.

На основу анализираних налаза може се закључити да префабриковани бетонски елементи представљају погодну полазну тачку за ширу индустријску примену рециклираног агрегата.

Такав приступ омогућава истовремено остваривање техничких захтева, очување природних ресурса и смањење количине грађевинског отпада, уз очување потребног нивоа сигурности и квалитета у грађевинској пракси.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://web1.grf.bg.ac.rs/learning/4_predavanje_sp_ecijalni_beton (приступљено у децембру 2025.)
- [2] Poon, C.-S., Shui, Z.-H., Lam, L., Fok, H., & Kou, S.-C. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31–36.
- [3] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 593–603.
- [4] Pedro, D., de Brito, J., & Evangelista, L. (2017). Structural concrete with simultaneous incorporation of

fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. Construction and Building Materials, 154, 294–309.

[5] Tam, V. W. Y., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). Construction and Building Materials, 172, 272–292.

[6] <https://bukpromet.com/djelatnost/5-ab-prefabrikovane>
(приступљено у децембру 2025.)

Кратка биографија:



Никола Јовановић рођен је 2001. године у Чачку. Завршио је Средњу машинску техничку школу у Краљеву. Године 2023. уписао је студијски модул Грађевинарство на ФТН у Новом Саду. Дипломски рад одбранио је у октобру 2024. године.

Контакт:
nikola44321@gmail.com