

МИНЕРАЛНЕ СИРОВИНЕ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЦЕМЕНТА И БЕТОНА

Дражан Токановић¹, Бојана Голић Илић¹, Цвјетко Сандић²

e-mail аутора: d.tokanovic@geozavodrs.com.rs

1-Републички завод за геолошка истраживања, Вука Караџића 1486, 75 400 Зворник

Апстракт

У раду се анализира минерално-сировинска база Републике Српске са аспекта примјене у производњи савремених цементних везива и бетона, подстакнуто потребом за декарбонизацијом грађевинске индустрије и редукцијом емисије CO₂. Дат је приказ просторне заступљености примарних сировина - кречњака, доломита, глина и цементног лапорца - као и пратећих ресурса попут шљунка, пијеска, кварцног пијеска, туфа те лежишта гипса. Поред природних ресурса, разматрана је валоризација индустријских нуспроизвода, прије свега троске, летећег пепела и шљаке који настају сагоријевањем угља и вјештачког гипса добијеног процесом одсумпоравања. Овакав приступ омогућава да се техногене сировине, кроз детаљно познавање њиховог хемизма и физичких својстава, интегришу у производне циклусе као вриједан минерални ресурс за израду еколошки прихватљивијих грађевинских материјала. Резултати анализе сировинске базе пружају увид у расположивост ресурса у Републици Српској који могу бити релевантни за разматрање примјене принципа циркуларне економије кроз валоризацију индустријског отпада и рационално коришћење минералних сировина.

Кључне речи: минералне сировине, екологија, декарбонизација, цемент, бетон

Тема скупа: Геологија и геолошка истраживања и заштита животне средине-актуелна питања и дилеме

Увод

Минералне сировине представљају основни ресурс у индустријској производњи грађевинских материјала, посебно цемента и бетона. Основне сировине за њихову производњу припадају групи неметаличних минералних сировина, међу којима се издвајају кречњак, глина, лапорац, доломит, пијесак и гипс. Њихов хемијски и минерално-геолошки састав, као и међусобни однос компоненти, директно утичу на квалитет клинкера, својства цемента и карактеристике бетона као финалног производа.

Поред основних неметаличних минералних сировина, у производњи цемента и

бетона примјењују се и металичне минералне сировине, нуспроизводи из лежишта каустобиолита, као и различите техногене минералне сировине. Њихова употреба доприноси унапређењу физичко-механичких својстава готових производа, рационалнијем коришћењу природних ресурса и смањењу негативног утицаја на животну средину. Посебан значај имају техногене минералне сировине које се користе као минерални додаци у цементима и бетонима, јер представљају један од кључних приступа смањењу емисије угљен-диоксида и повећању одрживости грађевинске индустрије.

Савремени трендови развоја и модернизације инфраструктуре условљавају континуиран раст производње цемента и бетона, чиме се повећава и потреба за истраживањем, експлоатацијом и рационалним коришћењем минералних сировина неопходних за њихову производњу. Наведени процеси намећу примјену савремених метода проспекције, геолошких истраживања и лабораторијских испитивања квалитета минералних сировина, с циљем обезбјеђивања довољних количина квалитетних ресурса за потребе савремене индустрије и инфраструктурних пројеката.

На простору Републике Српске присутна су бројна лежишта минералних сировина која представљају значајну минерално-сировинску базу за производњу цемента и бетона. Њихова просторна распоређеност, геолошке карактеристике, квалитет и економска исплативост експлоатације од великог су значаја за планирање даљег индустријског и привредног развоја. Посебну пажњу потребно је посветити детаљним геолошким истраживањима и лабораторијским анализама, јер квалитет минералне сировине директно утиче на својства финалног производа и укупну ефикасност производног процеса.

Наведени трендови указују на значај геологије као једног од важних фактора привредног развоја, с обзиром на то да геолошка истраживања представљају основу за проналажење, евалуацију и рационално коришћење минералних ресурса неопходних за развој грађевинске индустрије и савремене инфраструктуре.

У даљем раду биће наведена лежишта металичних, неметаличних и техногених минералних сировина које се користе као основне сировине и минерални додаци у производњи цемента и бетона.

Лежишта минералних сировина за производњу цемента и бетона

Лежишта неметаличних минералних сировина

Неметаличне минералне сировине имају изузетно широку примјену у грађевинарству и индустрији грађевинских материјала (Илић, 2003). У производњи цемента и бетона ове сировине представљају главну компоненту

за добијање прописаних физичко-механичких својстава финалног производа, као што су чврстоћа, трајност, отпорност на хемијске утицаје и стабилност у различитим условима средине.

Најзначајније неметаличне минералне сировине које се користе у производњи цемента и бетона су кречњак, доломит, цементни лапорац, глина, гипс, кварцни пијесак, шљунак и пијесак, као и туф. Кречњак је доминантна сировина за добијање кречњачког брашна које чини значајан дио сировинског састава за добијање клинкера. Он обезбјеђује значајну количину СаО који учествује у формирању главних минералних фаза клинкера. Глина као друга основна компонента садржи силицијум, алуминијум и гвожђе, који омогућавају формирање силиката и алумината калцијума у процесу синтеровања. Кварцни пијесак представља корективну сировину, јер регулише садржај силицијум-диоксида у смјеси, а у неким случајевима користи се и као додатак бетону, јер побољшава гранулометријски састав и доприноси већој чврстоћи и отпорности бетонске масе.

У производњи бетона, поред цемента као везива, значајну улогу имају и друге неметаличне минералне сировине које служе као агрегати: дробљени камен, шљунак и пијесак. Они чине више од 70% запремине бетона и директно утичу на његова механичка својства као што су густина, радна способност и трајност. Агрегати морају бити одређене гранулације, чистоће и хемијског састава, без примјеса које би могле изазвати хемијске реакције и нарушити стабилност материјала.

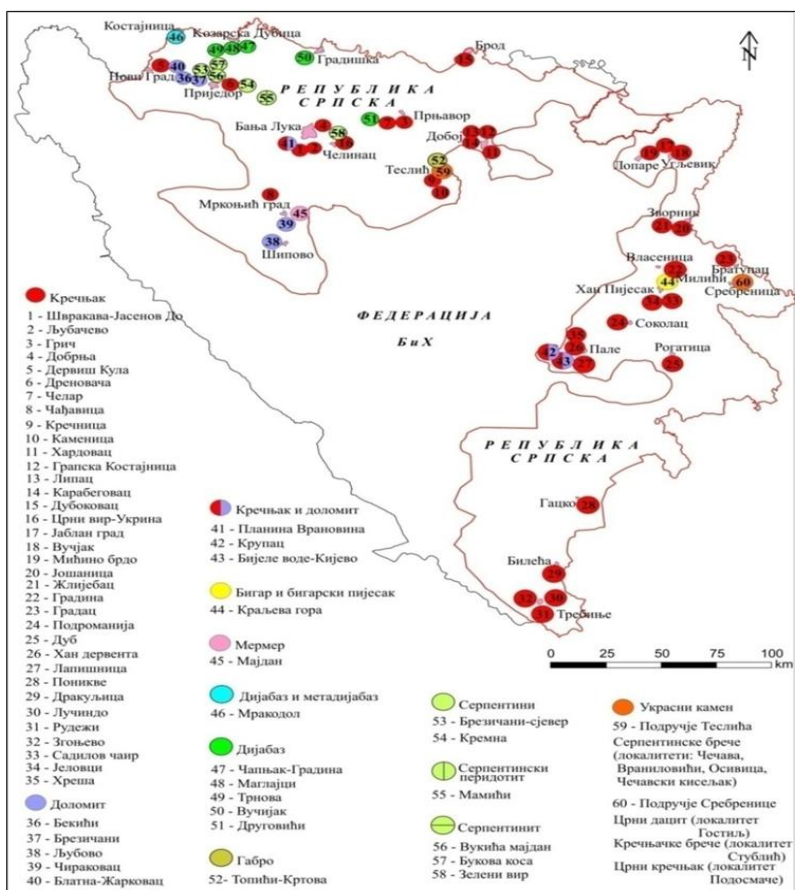
Поред основних сировина, у производњи цемента и бетона користе се и индустријски нуспроизводи, као што су пепео, шљака, високопећна троска и црвени муљ, као додатне сировине за побољшање квалитета грађевинских материјала, а самим тим доприносе и заштити животне средине кроз смањење потрошње природних ресурса.

Лежишта кречњака

Лежишта карбонатних стијена – кречњака и доломита су најбројнија лежишта неметаличних минералних сировина у Републици Српској (слика 1). Заступљена су готово у свим јединицама Динарске металогенетске провинције (Митровић и сар., 2020). Примарна улога кречњака односи се на његов значај као основне карбонатне сировине у процесу производње клинкера, док се секундарна улога огледа у примјени фино мљевеног кречњака као минералног додатка ради побољшања технолошких и физичко-механичких својстава цемента и бетона. У производњи бетона кречњак има значајну примјену као агрегат и као кречњачко брашно (филер), које побољшава густину, кохезију и обрадивост свјеже бетонске смјеше (Хајдаревић, 2025).

Лежишта доломита

Доломити представљају карбонатне стијене које се састоје у основи од минерала доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), који је по свом хемијском саставу двојна карбонатна со калцијума и магнезијума. Да би се удовољило захтјевима потрошача односно прерађивача ове минералне материје, при кориштењу доломита, поред количине, велику улогу играју и одређене физичко-хемијске особине (Митровић и сар., 2020). Доломит има значајну примјену првенствено у производњи бетона, гдје се користи као висококвалитетни дробљени агрегат. Због својих физичко-механичких карактеристика доприноси повећању чврстоће, отпорности на хабање и хемијске постојаности бетона. У производњи цемента његова примјена је ограничена због присуства MgO , које у већим количинама може негативно утицати на стабилност цемента. Међутим, фино мљевени доломит може се користити као минерални додатак и филер након процеса печења клинкера.



Слика 1 Лежишта карбонатних сировина, техничког и архитектонско-грађевинског камена (Д. Митровић и сар., 2020)

Лежишта цементног лапорца

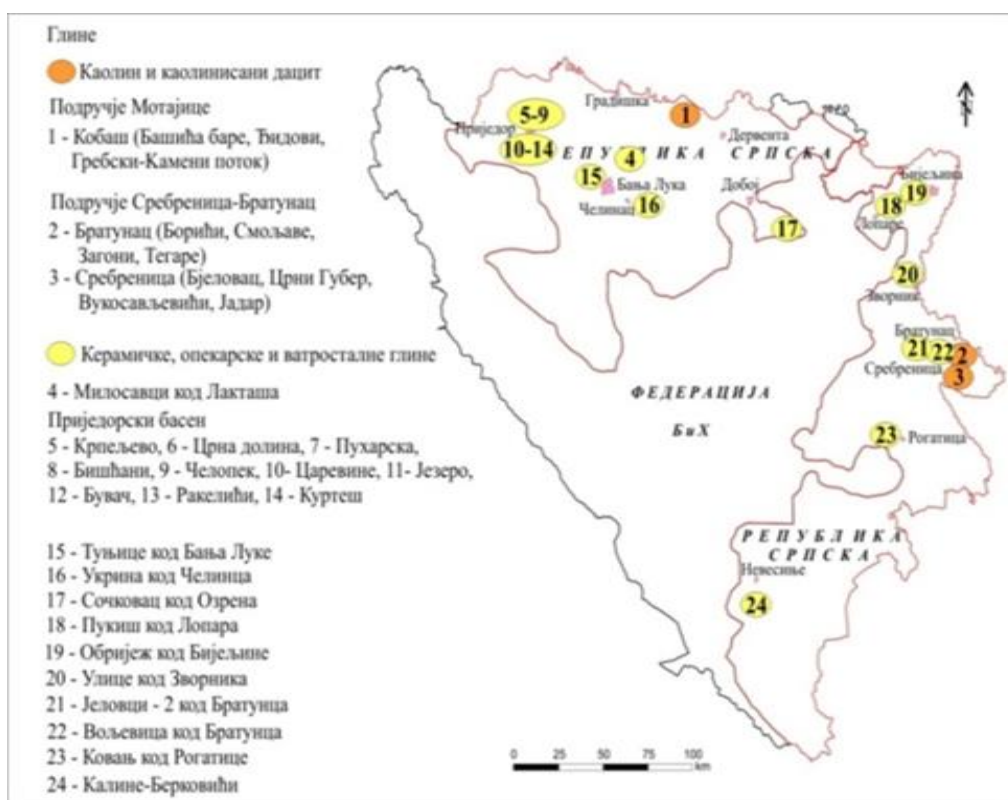
Распрострањеност цементног лапорца у Републици Српској најзначајније је утврђена у лежиштима угља на подручју Угљевика, Гацка и Љешљанског угљеног басена. Цементни лапорци се јављају у великом обиму, најчешће као кровина угљених слојева. На рудницима у Угљевику и Гацку они се откопавају током експлоатације угља и најчешће одбацују као јаловина. У Љешљанском басену процјењене су резерве од око 520 милиона m³ цементних лапораца, при чему је утврђена могућност њихове примјене у производњи цемента уз додатак кречњака. Цементни лапорци представљају веома значајну сировину јер садрже природно уравнотежен однос карбонатне и алумосиликатне компоненте (Митровић и сар., 2020). Због таквог састава омогућавају једноставнију припрему сировинске смјеше за производњу клинкера и смањују потребу за додатним корективним сировинама. Њихова примјена доприноси стабилнијем технолошком процесу и већој енергетској ефикасности производње цемента.

Лежишта глина

Лежишта керамичких глина су бројна у приједорском неогеном басену: Крпељево, Црна долина, Пухарска, Бишћани, Челопек, Царевина, Језеро, Ракелићи, Куртеш, као и значајна лежишта у Милосавцима код Лакташа, Укрини код Челинца и Јеловцима код Братунца (слика 2).

Лежишта опекарских глина заступљена су на цијелом простору Републике Српске: Туњице, Пукиш, Обријеж, Сочковац, Ковач и Калина. Ова лежишта су истражена али нису у експлоатацији, изузев Црне долине и Обријежи која се експлоатишу. Лежишта каолина и каолинисаног гранита издвојена су на подручју Мотајице, односно на локалитетима Кобаш (Башића баре), Ђидови и Гребски камени поток, као и на подручју Сребреница-Братунац. На подручју општине Сребреница издвајају се лежишта Бјеловац, Црни Губер, Вукосављевићи и Јадар, као и појаве каолинисаног санидинског дацита, мањег степена истражености, али се могу оцијенити као перспективна за даља истраживања (Митровић и сар., 2020).

Глине имају вишеструку примјену у производњи цемента јер обезбјеђују потребне садржаје силицијума, алуминијума и гвожђа у сировинској смјеси. Хемијски састав глина директно утиче на процес клинкеризације, брзину везивања и развој чврстоће цемента. Поред тога, одређене врсте глина могу се користити као пуцолански додаци у производњи специјалних цемената и одрживих бетона. Квалитет глина је од посебног значаја, јер присуство штетних примјеса може изазвати појаву пукотина, нестабилност запремине и смањење трајности бетона (Бегић, 2025).



Слика 2 Лежишта глина у Републици Српској (Д. Митровић и сар., 2020)

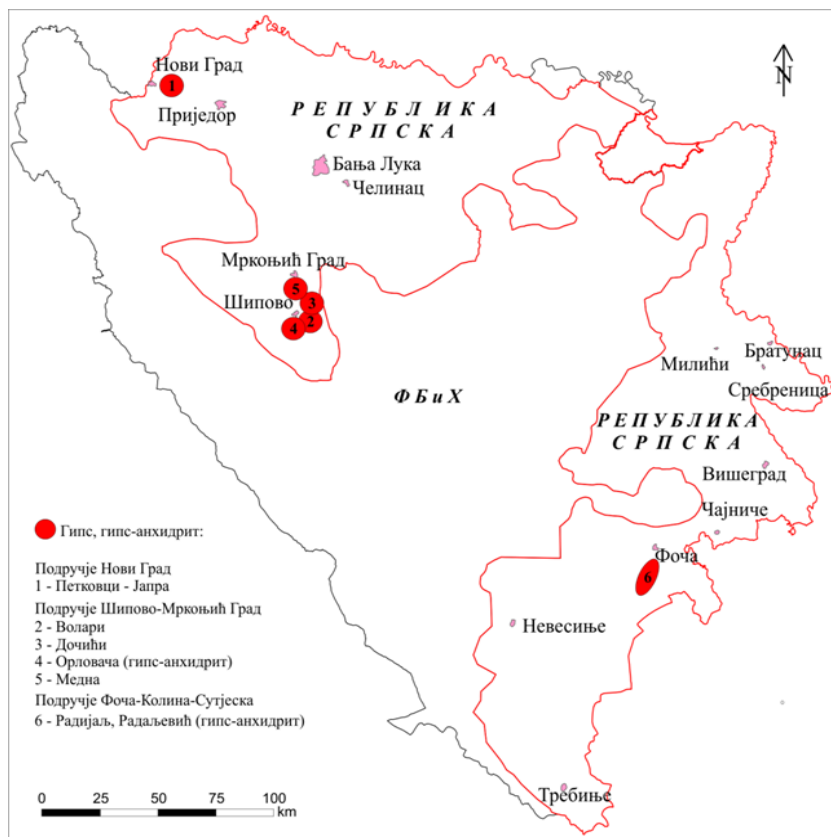
Лежишта туфа

Лежишта туфа распрострањена су на подручју Прњавора, Зворника и Власенице. Туф и зоолитски материјали имају значајну примјену као природни пуцолани. Реагујући са калцијум-хидроксидом током хидратације цемента формирају додатне цементне фазе које побољшавају трајност, водонепропусност и хемијску отпорност бетона. Њихова примјена доприноси смањењу количине клинкера у цементу, а самим тим и смањењу емисије CO_2 током производње цемента, што је посебно значајно са аспекта одрживог развоја и заштите животне средине (Хајдаревић, 2025).

Лежишта гипса

На простору Републике Српске лежишта гипса (слика 3) налазе се на подручју Новог Града, Шипова-Мркоњић Града и на подручју Фоча-Колина-Сутјеска (Митровић и сар., 2020). Гипс представља незаобилазну компоненту у производњи цемента због његове улоге регулатора времена везивања. Додавањем оптималних количина гипса контролише се реакција хидратације клинкера и спрјечава пребрзо везивање цемента.

На тај начин побољшава се обрадивост цементне пасте, повећава трајност и омогућава правилно уграђивање бетона у грађевинске конструкције. Гипс се такође користи у производњи специјалних врста цемента са посебним техничким карактеристикама (Хајдаревић, 2025).

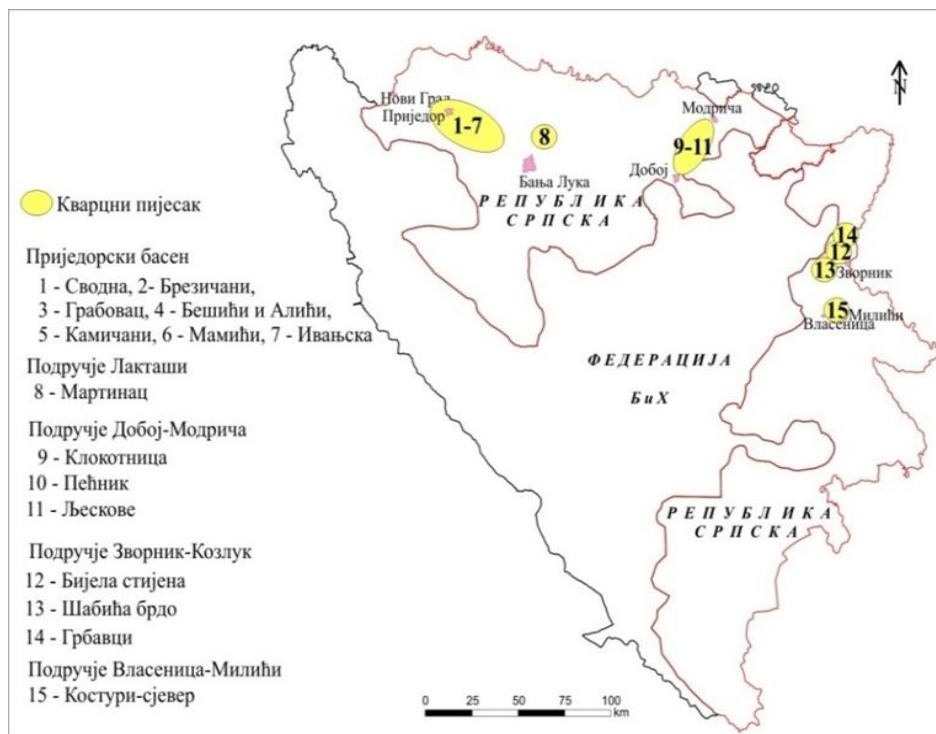


Слика 3 Лежишта гипса и гипс-анхидрита у Републици Српској (Д. Митровић и сар., 2020)

Лежишта кварцног пијеска

Економски значајна лежишта кварцног пијеска, која су углавном везана за плиоценске морске седименте у сјеверном дијелу Републике Српске, налазе се у приједорском басену, као и на подручју Добој-Модрича и Зворник-Козлук (слика 4).

Кварцни пијесак користи се као корективни додатак у производњи клинкера, али и у производњи специјалних бетона високих и ултра-високих перформанси. Захваљујући високом садржају SiO_2 доприноси повећању отпорности на хабање, абразију и агресивне хемијске утицаје. Његова примјена посебно је значајна у производњи бијелог цемента и декоративних бетона.



Слика 4 Лежишта и појаве кварцног пијеска на простору Републике Српске (Д. Митровић и сар., 2020)

Лежишта шљунка и пијеска

Највећа заступљеност лежишта шљунка и пијеска на простору Републике Српске налазе се унутар алувијалних долина већих токова, посебно Уне, Сане, Саве, Врбаса, Укрине, Босне, Дрине и других мањих значајних токова (слика 5). Лежишта шљунка и пијеска сврстана су у класу лежишта механичких седимената (Јеленковић и сар., 2010).

На простору Републике Српске постоји велики број отворених шљункара и пијескара, али не постоји уредно вођена евиденција о њиховим количинама, квалитету и експлоатацији.

Шљунак и пијесак представљају основне компоненте бетона и чине највећи дио његове запремине. Њихова гранулометрија, облик зрна, чврстоћа и чистоћа имају директан утицај на чврстоћу, водонепропусност, отпорност на хабање и трајност бетона.

Квалитетни агрегати омогућавају производњу бетона високих перформанси и дуг вијек трајања грађевинских објеката. Због тога је детаљно геолошко истраживање и контрола квалитета агрегата од изузетног значаја за грађевинску индустрију.



Слика 5 Лежишта шљунка и пијеска (Д. Митровић и сар., 2020)

Лежишта металних минералних сировина

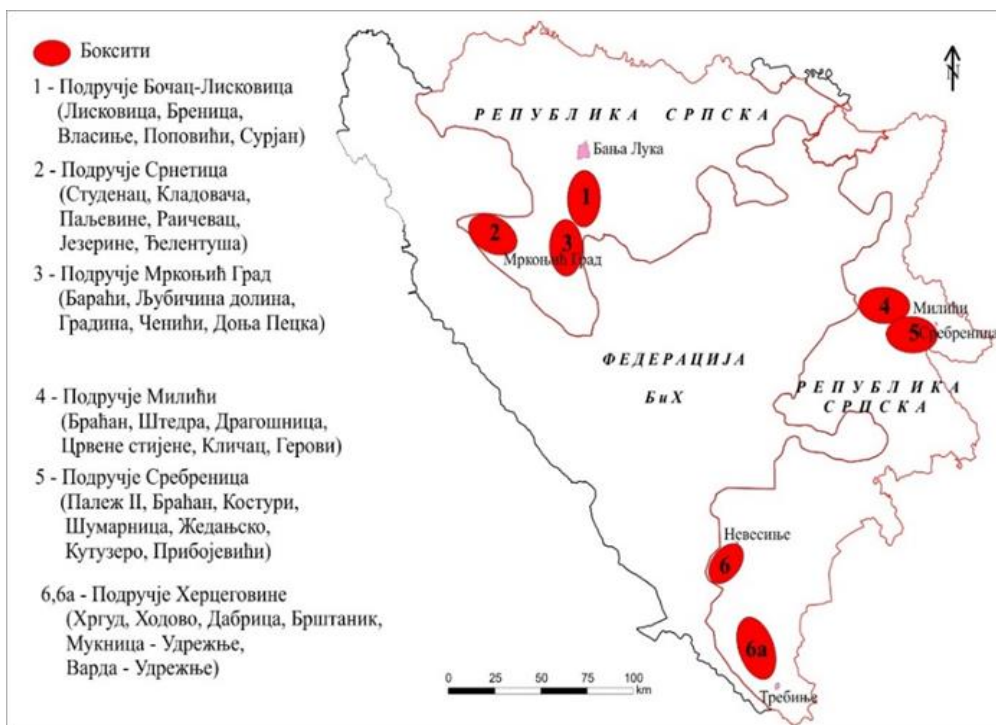
У производњи цемента и бетона доминантно се користе неметалне минералне сировине, док одређену улогу у њиховом индустријском добијању имају и металне минералне сировине, међу којима се издваја боксит као најзначајнија руда алуминијума.

Лежишта боксита

Боксит представља минералну сировину од великог значаја за привреду Републике Српске. Лежишта боксита се истражују и експлоатишу у континуитету низ деценија. На подручју Републике Српске издвајају се три бокситоносна подручја: Бања Лука-Мркоњић Град-Српска, Милићи-Сребреница и источна Херцеговина (слика 6).

Бокситоносно подручје Милића и Сребренице је по пространству најмање бокситоносно подручје Републике Српске, али је по интензитету појављивања боксита, величини лежишта, рудним резервама и производњи далеко веће од других лежишта и економски је најзначајније.

Боксит има важну улогу као корективни фактор сировинске смјеше при производњи портланд цемента, гдје алуминијумови оксиди утичу на снижавање температуре печења и побољшавају процес клинкеризације. Поред тога, боксит представља основну сировину за производњу специјалног алуминатног и ватросталног цемента који се користе у условима високих температура и агресивних средина. Остаци боксита (црвени муљ) могу се користити као секундарна сировина у производњи цемента за дјелимичну замјену природних сировина у производњи клинкера, због садржаја Fe, Al и Si-оксида. Његова примјена доприноси смањењу потрошње примарних сировина и валоризацији индустријског отпада уз контролисано дозирање.



Слика 6 Бокситоносна подручја Републике Српске (Д. Митровић и сар., 2020)

Лежишта техногених минералних сировина и еколошки аспекти индустријске производње

Техногене минералне сировине представљају значајан потенцијал за развој еколошки одрживе производње у грађевинској индустрији. Настају као нуспроизводи рударске, енергетске и металуршке индустрије. Савремени приступи управљању минералним ресурсима све више се заснивају на принципима циркуларне економије, при чему се индустријски отпад посматра као потенцијална секундарна сировина која може имати значајну примјену као минерални додатак у производњи цемента и бетона.

На тај начин смањује се потреба за експлоатацијом природних сировина, као и количина отпада на депонијама и негативни утицаји индустријске производње на животну средину. Употребом нуспроизвода у производњи цемента и/или бетона значајно се смањује емисија CO_2 у атмосферу што уствари погодује стварању услова за еколошку прихватљиву градњу уз гарантован квалитет и постојаност конструкције (Мерић и сар., 2025). На подручју Републике Српске евидентирано је више локалитета са значајним количинама техногених минералних сировина које могу имати примјену у грађевинској индустрији. Посебно се издвајају одлагалишта рударског отпада, пепео и шљака из термоелектрана, високопећна троска, као и црвени муљ настао током прераде боксита. Ови материјали, након одговарајућих хемијских, минералošких и технолошких испитивања, могу се користити као минерални додаци којима се дјелимично замјењује клинкер у цементу, чиме се доприноси енергетски ефикаснијој и еколошкој прихватљивијој производњи.

Значајан потенцијал посједује црвени муљ из фабрике глинице „Нова Алумина“. Анализама великог броја хемијских елемената потврђено је присуство оксида алуминијума, гвожђа и силицијума, који имају важну улогу у производњи цемента. Употреба црвеног муља као минералног додатка омогућава смањење количине отпада из алуминијске индустрије, али и смањење потрошње природних сировина и клинкера. Тиме се директно доприноси смањењу емисије угљен-диоксида и укупног еколошког оптерећења грађевинске индустрије.

Такође, значајне количине техногених сировина настају у термоенергетском сектору, првенствено у термоелектранама Угљевик и Гацко, гдје се током сагоријевања лигнита формирају летећи пепео и шљака. Ови материјали имају широку примјену као минерални додаци цементу и бетону захваљујући својим физичко-хемијским својствима. Њиховом употребом могуће је унаприједити одређена својства цементних композита, смањити потрошњу клинкера и истовремено ријешити проблем одлагања великих количина индустријског отпада. Такав приступ представља важан сегмент одрживе производње и рационалног управљања минералним ресурсима. У даљем раду биће приказани процеси настанка техногених минералних сировина, са посебним освртом на њихове могућности примјене као минералних додатака у савременој, еколошкој одрживој производњи цемента и бетона.

Вјештачки гипс

Да би се смањило загађење ваздуха, у термоелектрани Угљевик је изграђено савремено постројење за одсумпоравање димних гасова (ОДГ). У овом систему ОДГ основне компоненте су вода, кречњак и кисеоник који се касније додаје. Хемијском реакцијом у апсорберу, калцијум-карбонат (CaCO_3) у контакту са сумпор-диоксидом (SO_2) прелази у калцијум-сулфат (CaSO_4) и воду (H_2O). На

овај начин долази до смањења концентрације SO_2 у димном гасу и као нуспроизвод настаје калцијум-сулфат (гипс). Гипс се у виду водене суспензије транспортује у постројење за исушивање, а затим у чврстом стању складишти у силосу гипса у склопу постројења за ОДГ и продаје заинтересованим странама у складу са процедуром RTEU.P.40, или се одлаже на депонију шљаке и пепела уколико нема заинтересованих страна. Тренутно сав гипс који се добије у процесу одсумпоравања продаје се цементари Лукавац, или се извози за Србију.

Еколошки аспект производње оваквог вјештачког гипса огледа се у принципима циркуларне економије, гдје отпадни нуспроизвод једне индустрије постаје вриједна секундарна сировина за другу. Рад постројења за ОДГ у ТЕ Угљевик доноси двоструку еколошку корист. С једне стране, драстично се смањује емисија сумпор-диоксида у атмосферу и спрјечава појава киселих киша, док се с друге стране пласманом овог материјала спрјечава његово одлагање на депоније, што дугорочно смањује заузимање земљишног простора и смањује ризик од контаминације околног тла и подземних вода у близини термоелектране. У погледу могућности примјене, овај вјештачки гипс се због свог високог степена хемијске чистоће (која често прелази 95% калцијум-сулфат дихидрата) и изразито фине гранулометрије показао као изврсна супституција за природни гипс у индустрији грађевинских материјала. С обзиром на строге еколошке стандарде и тежњу ка смањењу емисије угљен-диоксида у грађевинском сектору, сировински потенцијал вјештачког гипса из ТЕ Угљевик представља стратешки важан ресурс за производњу цемента и бетона.

Летећи пепео и шљака

Као пуцолански минерални додатак, летећи пепео значајно утиче на карактеристике бетона тако што побољшава обрадивост свјеже масе, редукује топлоту хидратације и повећава крајњу чврстоћу, уз истовремено смањење пропусности и ризика од пуцања услед скупљања материјала. Овај материјал настаје као нуспроизвод током сагоријевања угља у термоелектранама. Његов структурни састав углавном чине аморфне, стакласте честице препознатљивог сферног облика, које се у маси могу појавити као појединачне или у виду агрегата, а по својој унутрашњој грађи могу бити или потпуно испуњене или шупље (Бегић, 2025). Реактивност летећег пепела у великој мјери зависи од степена аморфности и његовог хемијског састава. Пепео са нижим садржајем CaO испољава претежно пуцоланска својства, док пепео са вишим садржајем CaO може показивати и латентно-хидраулична својства. Због тога однос CaO/SiO_2 има значајан утицај на пуцоланску активност и понашање летећег пепела у цементној пасти, малтеру и бетону. Сходно томе, својства бетона са додатком летећег пепела могу варирати у зависности од извора пепела и разлика у његовим физичким и хемијским карактеристикама. Поред летећег

пепела, значајан нуспроизвод термоенергетских постројења представља и шљака, која настаје током сагоријевања угља у ложишту котла. Иако се традиционално одлагала на депоније или користила у грађевинским радовима ниже вриједности, савремени трендови у производњи цемента, усмјерени ка декарбонизацији и принципима циркуларне економије, све више препознају потенцијал њене примјене као минералног додатка цементу и бетону.

Примјена летећег пепела и шљаке као минералних додатака омогућава смањење клинкер/цемент фактора, чиме се директно утиче на смањење емисије CO₂ и потрошње природних сировина. Осим еколошких користи, оваква пракса доприноси ефикаснијем управљању индустријским отпадом, смањењу енергетске потрошње, смањењу трошкова производње и укупном унапређењу одрживости грађевинске индустрије. У посљедњих неколико година повећано је интересовање цемента и предузећа за производњу асфалтних база, попут компаније СИКА, за коришћење електрофилтерског пепела из РиТЕ Угљевик. То је омогућило комерцијалну валоризацију пепела, чиме се, поред економске добити, смањују и количине материјала које се одлажу на депоније рудника.

Троска

Поред нуспроизвода који настају у термоенергетским постројењима, значајан потенцијал за примјену у производњи цемента има и високопећна троска, која настаје као нуспроизвод у процесу производње сировог гвожђа. Процес топљења у високој пећи истовремено даје два производа: растопљено гвожђе, које се због своје тежине сакупља на самом дну и високопећну троску која плива изнад њега. Оба материјала се периодично празне кроз посебне отворе на пећи. Да би се ова троска трансформисала у користан минерални додаток и избјегло њено депоновање, она се подвргава наглом хлађењу великом количином воде. Овим поступком брзог гашења спрјечава се кристализација и задржава жељена аморфна структура, чиме се добија гранулирана високопећна троска. Након тога, добијене грануле се издвајају, филтрирају и подвргавају фином мљевењу. Самим повећањем финоће овог праха директно се убрзава реакција хидратације и подстиче бржи развој чврстоће. Крајњи производ, познат као мљевена гранулирана високопећна троска, одликује се латентно-хидрауличним својствима. Као таква, она служи као одличан додаток при самом справљању бетона или као заједничка компонента која се хомогенизује и меље са клинкером у процесу производње различитих типова композитних цемената, значајно побољшавајући карактеристике материјала како у свјежем, тако и у очврслом стању. Мљевена гранулирана високопећна троска је свјетлије боје од портланд цемента, па бетон с њеним учешћем има свјетлији тон и већу рефлексивност у односу на бетон израђен искључиво са портланд цементом. Топлота која настаје током хидратације портланд цемента поспјешује хидратацију гранулиране високопећне троске, укључујући

реакцију с калцијум-хидроксидом латентно-хидрауличног типа, чиме настаје додатни C-S-H везивни гел који попуњава веће поре у цементној пасти, чинећи је гушћом, а бетон мање пропусним. Захваљујући таквој интеракцији између портланд цемента и високопећне троске, бетон добија побољшана механичка својства, већу трајност и бољу отпорност на агресивне утицаје средине. У стандардним рецептурама за бетон, гранулирана високопећна троска се успјешно користи као супституција за 25% до 50% масе цемента, што омогућава добијање бетона високих перформанси и повишене чврстоће, погодних за изградњу саобраћајне инфраструктуре и захтјевних грађевинских конструкција. У зависности од специфичних пројектних захтјева, удио замјене може се повећати на 65%, па чак и више. Овако високи проценти одређују се циљано, у складу са жељеним карактеристикама као што су брзина везивања, обрадивост, финална обрада површине и динамика развоја чврстоће. Такође, повећани удио троске бира се ради контроле ослобођене топлоте хидратације, смањења пропусности, те постизања високе отпорности материјала на продор хлорида, сулфатну корозију и деструктивну алкално-силикатну реакцију (Бегић, 2025). Супституцијом једног дијела клинкера овом сировином омогућава се редукција емисије CO₂ чак до 70% по једној тони произведеног цемента, при чему се истовремено унапређују физичко-механичка и техничка својства самог бетона. Овакав приступ директно прати еколошке смјернице Европске уније и подржава свјетске трендове који теже декарбонизацији комплетне грађевинске индустрије (Делибашић, 2025).

Закључак

Расположиви минерални ресурси Републике Српске чине разноврсну сировинску базу која представља стратешку основу за развој савремене индустрије грађевинских материјала. У структури ових лежишта примарно мјесто заузимају неметаличне минералне сировине, прије свега кречњак, доломит, глина, лапорац, гипс, кварцни пијесак и пијесак и шљунак. Ови ресурси чине полазну основу за производњу клинкера, као и висококвалитетних цементних и бетонских система. Поред примарних сировина, значајну улогу имају и металичне минералне сировине, нарочито боксит, који се користи у корекцији сировинске смјеше и производњи специјалних цемената, као и у валоризацији нуспроизвода попут црвеног муља. Посебно важан сегмент представљају техногене минералне сировине, као што су летећи пепео, шљака, високопећна троска и вјештачки гипс, које настају као индустријски нуспроизводи, али имају висок потенцијал примјене у грађевинској индустрији. Примјена ових материјала омогућава смањење потрошње природних сировина, смањење количине индустријског отпада, као и значајно смањење емисије угљен-диоксида у процесу производње цемента.

На тај начин се директно доприноси имплементацији принципа циркуларне економије и одрживог развоја. Познавање геолошких карактеристика и технолошких параметара сировинске базе представља услов за сваку будућу рационалну и ефикасну примјену ових ресурса у грађевинском сектору. Посебан значај има интеграција природних и техногених ресурса у производне процесе, чиме се обезбјеђује стабилност снабдијевања сировинама, побољшање квалитета производа, те ефикасна декарбонизација производње кроз системску валоризацију индустријских нуспроизвода. Све наведено указује да минералне сировине Републике Српске, уз адекватно истраживање и одрживо управљање, представљају значајан потенцијал за развој савремене, еколошки прихватљиве индустрије грађевинских материјала.

Референце/Литература

- Бојана Голић-Илић, Евица Дивковић-Голић, Дражан Токановић, Цвјетко Сандић, 2025. *Потенцијал минералних сировина Републике Српске за примјену у цементној и бетонској индустрији*, Институт за грађевинарство, грађевинске материјале и неметале д.о.о. Тузла, Тузла
- Геоинжењеринг-Сарајево, 1976-1979, *Минералне сировине Босне и Херцеговине (Том I-II)*, ООУР Институт за геологију, Сарајево
- Дино Делибашић, 2025. *Одржива производња цемента уз кориштење индустријских ресурса*, Институт за грађевинарство, грађевинске материјале и неметале д.о.о. Тузла, Тузла
- Драган Митровић и сар, 2020. *Минералне сировине Републике Српске*, Републички завод за геолошка истраживања, Зворник
- Евица Дивковић-Голић, Љубомир Гајић, 2021. *Тумач за металогенетску карту Републике Српске 1:300 000*, Републички завод за геолошка истраживања, Зворник
- Исмир Хајдаревић, 2025. *Перспективе истраживања и експлоатације агрегата за бетоне и сировина за производњу цемента у Федерацији БиХ*, Институт за грађевинарство, грађевинске материјале и неметале д.о.о. Тузла, Тузла
- Милоје Илић, 2003. *Методе истраживања лежишта неметаличних минералних сировина*, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Београд
- Мирнеса Мерић, Ирма Омић, Алмир Селимовић, Фарук Мехачевић, 2025. *Лабораторијска искуства у примјени индустријских нуспроизвода као минералних додатака у цементним мјешавинама*, Институт за грађевинарство, грађевинске материјале и неметале д.о.о. Тузла, Тузла
- Раде Јеленковић, Владимир Симић, Александар Костић, Драгана Животић, 2010. *Лежишта минералних сировина*, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Београд
- Сабина Бегич, 2025. *Минерални додаци цементу и бетону: сировински потенцијал БиХ и могућности за одрживу примјену*, Институт за грађевинарство, грађевинске материјале и неметале д.о.о. Тузла, Тузла