

Декарбонизација у цементној индустрији



Део 2: Ко-процесуирање

*Значај употребе енергије из отпада
за декарбонизацију у цементној индустрији*



cementna
industrija Srbije

Декарбонизација у цементној индустрији

CO₂



Део 2: Ко-процесуирање



| | |
|---|----|
| ПРЕДГОВОР | 3 |
| 1. О КО-ПРОЦЕСУИРАЊУ | 4 |
| 2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА | 7 |
| 2.1 Производња цемента и ко-процесуирање | 7 |
| 2.2 Отпад погодан за ко-процесуирање | 9 |
| 2.3 Отпад забрањен за ко-процесуирање | 10 |
| 2.4 Предности цементних пећи за ко-процесуирање отпада | 10 |
| 3. ЗАХТЕВИ ЗА ЕКОЛОШКИ БЕЗБЕДНО СПРОВОЂЕЊЕ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА | 12 |
| 3.1 Правни и институционални оквир | 12 |
| 3.2 Еколошки захтеви | 21 |
| 4. ДОПРИНОСИ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА | 31 |
| 4.1 Очување животне средине | 31 |
| 4.2 Циркуларна економија | 36 |
| 4.3 Економске уштеде (државе, локалних заједница и фабрика цемента) | 37 |
| 4.4 Решавање изазова савременог друштва | 37 |
| 5. УПОТРЕБА АЛТЕРНАТИВНИХ ГОРИВА У ФАБРИКАМА ЦЕМЕНТА У СРБИЈИ | 38 |
| 6. ЗАКЉУЧАК | 40 |
| 7. РЕФЕРЕНЦЕ | 42 |

Предговор

Цемент је важан грађевински материјал, неопходан за живот, а индустријска грана којој припадамо има кључну улогу у економском развоју сваке земље.

Један од великих изазова са којима се данас суочава цементна индустрија јесте смањење емисија CO₂, у којима у светским размерама, ова индустрија учествује са 5% до 8% [1].

Велики део емисија CO₂ (34%) настаје као резултат сагоревања фосилних горива у процесу добијања клинкера – основног састојка цемента, па су стога сви напори цементне индустрије, првенствено усмерени ка обезбеђењу услова за замену фосилног горива - најзначајнијег узрочника емитованих количина CO₂, енергијом из отпада – ко-процесуирањем.

„Декарбонизација у цементној индустрији“ је документ који се састоји из два дела.

Део 1 под називом: „**Портланд композитни цемента - пут ка угљеничној неутралности**“, даје преглед решења за смањење угљеничног отиска цемента оптимизацијом садржаја клинкера.

Део 2 под називом: „**Ко-процесуирање**“, има за циљ да стручну и ширу јавност упозна са значајем употребе енергије из отпада за декарбонизацију у цементној индустрији и то са аспекта:

- Техничко-технолошког процеса производње цемента;
- Утицаја на животну средину и квалитет крајњег производа;
- Мера контроле и надзора који се примењују у фабрикама цемента и
- Доприноса заштити животне средине, циркуларној економији, енергетској ефикасности, финансијским уштедама и решавању изазова савременог друштва.

Могућности за смањење емисије CO₂, које цементна индустрија у Србији буде могла да оствари ко-процесуирањем отпада, биће од кључног значаја за наставак њеног одрживог развоја и утврђивање будућег правца развоја тржишта цемента и бетона.

1. О КО-ПРОЦЕСУИРАЊУ

Почетна искуства са ко-процесуирањем отпада у цементним пећима у Европи, Јапану, САД, Канади и Аустралији датирају чак од почетка 1980-тих година. Ко-процесуирање отпада је постало добро успостављено и широко прихваћено решење за управљање отпадом, при чему су нека постројења у Европи успела да замене и до 100% конвенционалних фосилних горива са алтернативним горивима [2].

Упркос многобројним позитивним искуствима, која у развијеним земљама трају чак и дуже од 30 година, прихватање и усвајање алтернативних горива у индустрији цемента у привредама у развоју и економијама у настајању је споро, из разлога ограниченог знања о потенцијалу ко-процесуирања у поновном искоришћењу енергије, рециклажи минерала, недостатка законодавног и институционалног оквира, као и због економске и финансијске неизвесности. Отпор спаљивању отпада у оваквим економијама, као и забринутост јавности и цивилног друштва у вези са потенцијалним утицајима на животну средину и здравље такође су имали значајан допринос успоравању развоја коришћења енергије из отпада.

Достизање статуса ефикасног решења за управљање отпадом у Европи одвијало се постепено, током 15 до 20 година (Слике 2 и 3), и било је подржано строгим регулаторним захтевима за праћење квалитета улазног горива из отпада, емисија загађујућих материја и других негативних ефеката на животну средину. Поврх тога, развој ко-процесуирања је уско повезан и са променама у правном, институционалном и финансијском оквиру за управљање отпадом, које се првенствено односе на увођење такси или забране одлагања отпада на депоније.

Европско удружење произвођача цемента (CEMBUREAU) је у мају 2020. године објавило мапу пута за постизање угљеничне неутралности, у којој је наведена амбиција цементног сектора да достигне нето нулту емисију дуж ланца вредности цемента и бетона до 2050. године. На основу недавних дешавања у индустрији, CEMBUREAU је објавио [ажурирани план за Net Zero](#) у мају 2024. године.

Цементна индустрија ЕУ је остварила значајан напредак у протеклих неколико година, са алтернативним горивима која су чинила 58% укупне топлотне енергије (Слике 1 и 3) у 2022. години, у поређењу са 46% у 2017. и првобитних 2% у 1990. години. Због тога европска индустрија цемента задржава циљ да достигне 60% супституције фосилних горива до 2030. године, а чак 95% до 2050. године.



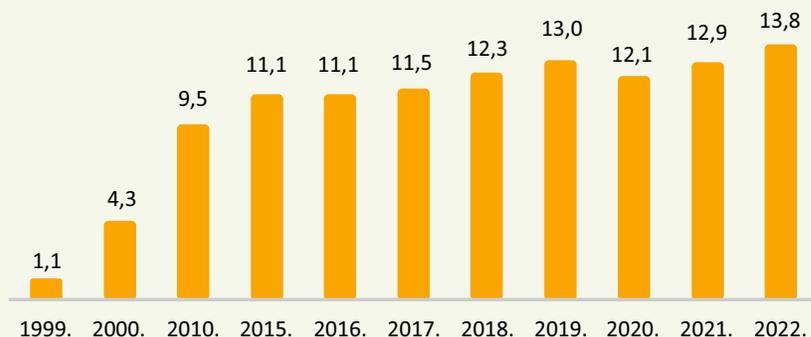
Позитиван утицај ко-процесуирања на одрживост европске индустрије цемента показују и следећи конкретни резултати:

- Захваљујући ко-процесуирању у земљама ЕУ, избегнута је емисија 23 милиона тона CO₂,
- Коришћење алтернативних горива помогло је да се уштеди око 7,8 милиона тона угља у ЕУ,
- Употребом алтернативних горива у ЕУ искоришћено је и око 5% њихове материјалне вредности као алтернативне сировине за производњу цементног клинкера.

Слика 1 – Супституција фосилног горива алтернативним [3]



милиони тона алтернативног горива (АГ)
у цементном сектору ЕУ



Слика 2 – Количине АГ у фабрикама цемента у ЕУ [3]

% топлотне енергије добијене
из алтернативних горива (АГ) у цементном сектору ЕУ



Слика 3 – Степен супституције фосилног горива у фабрикама цемента у ЕУ [3]

Улога ко-процесуирања у циркуларној економији, које омогућава поновно искоришћење енергије из отпада и рециклирање материјала, играће одлучујућу улогу у смањењу ослоњања цементне индустрије на фосилна горива и природне сировинске материјале.

Европска цементна индустрија ће морати да има приступ значајним количинама отпада и горива са ниским садржајем угљеника како би испунила [своју мапу пута](#) и дала одлучујући допринос циркуларној економији. На том путу **неопходно је да креатори политика:**

- Осигурају довољан и дугорочан приступ горивима из отпада;
- Прихвате двоструку предност рециклирања материјала и поновног искоришћења енергије која се постиже ко-процесуирањем у фабрикама цемента;
- Укључе удео материјала који се ефективно рециклира кроз ко-процесуирање у обрачун циљева рециклаже држава чланица ЕУ, према Оквирној директиви о отпаду.

2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА

2.1 Производња цемента и ко-процесуирање

Производња цемента је веома материјално и енергетски интензиван процес. За производњу једне тоне цементног клинкера потребно је у просеку 1,5 – 1,6 тона сировина.

Процес производње цемента може се поделити у две фазе: (1) Производња клинкера и (2) Млевење цемента.

Производња клинкера је сложен процес који обухвата низ операција које су на Слици 4 означене бројевима од 1 до 7. Процес почиње експлоатацијом сировина из каменолома и њиховим дробљењем, затим следе операције предхомогенизације, млевења, предгревања и предкалцинације сировинског брашна које улази у ротациону пећ где се обавља операција производње клинкера. Након изласка из пећи клинкер се хлади и складишти у силосе.

Друга фаза процеса производње (операције означене бројевима 8 до 10 на Слици 4) почиње млевењем. **Клинкер се меша** са 4% до 5% гипса и другим минералним компонентама (летећи pepeo, гранулисана згура високе пећи, кречњак и сл.) **и меље до финог праха - цемента**. Тако самлевен цемент складишти се у силосима.



Слика 4 – Производња цемента [4]

Декарбонизација у цементној индустрији

CO₂

Ко-процесуирање

2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА

За сваку фазу процеса производње цемента потребна је енергија. Електрична енергија се користи за покретање опреме (дробилице, пећи, млинове итд.) и утовар, а топлотна енергија за процесе сушења сировина, калцинације и синтеровања, односно производњу клинкера.

Топлотна енергија се традиционално обезбеђује из фосилних горива као што су нафта, природни гас, угаљ и нафтни кокс.

Различите врсте алтернативних горива добијених из отпада могу се користити за замену традиционалних горива.

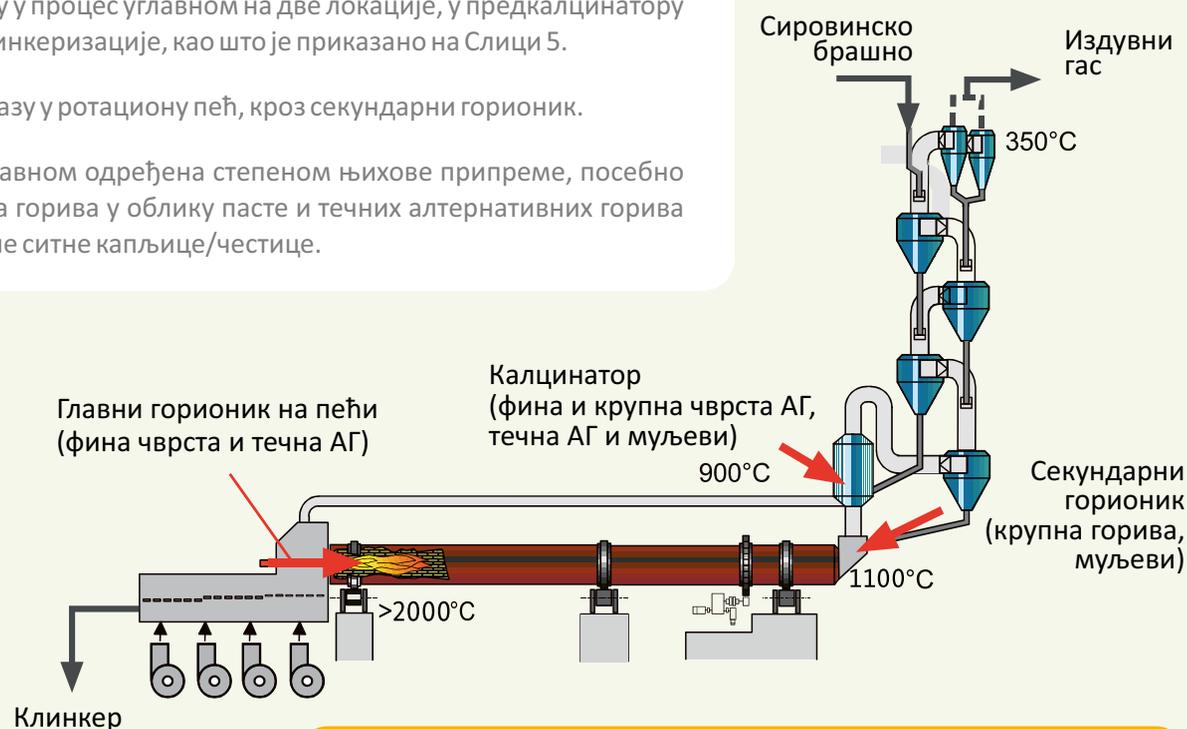
Алтернативна горива се могу користити у више фаза процеса производње клинкера, као што је приказано на Слици 5. У свакој фази, односно на сваком од приказаних места дозирања горива, обезбеђени су различити услови (нпр. температура и брзина гаса) тако да су погодна за сигуран и безбедан термички третман алтернативних горива различитог квалитета.

Горива се у најсавременијим системима цементних пећи додају у процес углавном на две локације, у предкалцинатору за реакцију калцинације и кроз главни горионик за реакцију клинкеризације, као што је приказано на Слици 5.

Мали део од укупне енергетске потребе се може додати и на улазу у ротациону пећ, кроз секундарни горионик.

За чврста алтернативна горива, тачка увођења у процес је углавном одређена степеном њихове припреме, посебно величином честица и калоричном вредношћу. Места увођења горива у облику пасте и течних алтернативних горива зависе од тога колико добро се могу распршити у мање или више ситне капљице/честице.

Ко-процесуирањем се садржај минерала калцијума (Ca), алуминијума (Al), гвожђа (Fe) и силицијума (Si) из АГ у потпуности искористи (рециклира) као сировина за производњу минерала клинкера, замењујући минерале из природних ресурса, док се органски садржај АГ користи као топлотна енергија, замењујући конвенционална горива.



Слика 5 - Места дозирања алтернативних горива у фабрикама цемента [2]

2.2 Отпад погодан за ко-процесуирање

Различите врсте отпадних материјала могу се успешно припремити за употребу као алтернативна горива у процесу производње клинкера. Токови отпада од значаја за ко-процесуирање обухватају: фракције чврстог комуналног отпада, опасног и неопасног индустријског отпада, комерцијалног отпада, као и остатака из пољопривреде, како је приказано на Слици 6.



ЧВРСТ КОМУНАЛНИ ОТПАД

- Сортирани комунални отпад
- Суви комунални отпад



ОПАСАН ИНДУСТРИЈСКИ ОТПАД

- Уље и гас
- Хемикалије
- Растварачи



НЕОПАСАН ИНДУСТРИЈСКИ ОТПАД

- Папир, картон
- Нерециклабилна пластика
- Отпадне гуме
- Месно коштано брашно
- Осушен канализациони муљ



ОСТАЦИ ИЗ ПОЉОПРИВРЕДЕ

- Љуспице соје, пиринча и сл.
- Дрво
- Семенке

2.3 Отпад забрањен за ко-процесуирање

Неке врсте отпада које би због свог хемијског састава и својстава материјала, могле да угрозе безбедан рад фабрике цемента и доведу до значајних утицаја на животну средину, су забрањене за ко-процесуирање. Фабрике цемента могу такође да искључе из употребе одређене врсте отпада у зависности од расположиве опреме за третман, приступачности локалних сировина и горива, доступне опреме за руковање и дозирање.



Табела 1 - Листа отпадних материјала забрањених за ко-процесуирање

| |
|--------------------------------|
| РАДИОАКТИВНИ ОТПАД |
| ОТПАД КОЈИ САДРЖИ АЗБЕСТ |
| ЕКСПЛОЗИВИ И МУНИЦИЈА |
| ИНФЕКТИВНИ МЕДИЦИНСКИ ОТПАД |
| ЕЛЕКТРИЧНИ И ЕЛЕКТРОНСКИ ОТПАД |
| ЦЕЛЕ БАТЕРИЈЕ |

2.4 Предности цементних пећи за ко-процесуирање отпада

Цементна пећ у којој се производи клинкер је по својој природи **ефикасан алат за поновно искоришћење минерала и енергије** из отпада. Њене карактеристике обезбеђују да се отпад безбедно и у потпуности искористи. Кључни разлози за то су:

- Максималне температуре у цементним пећима које су око 2000 °C (главни горионик, температура пламена);
- Време задржавања гасова у пећи које је око 8 секунди на температурама изнад 1200 °C што спречава формирање диоксида и фурана (PCDD/F);
- Температуре материјала у цементној пећи које су око 1450 °C у зони синтеровања;
- Атмосфере у цементној пећи које су алкалне и оксидационе;
- Релативно високи ниво ефикасности поновног искоришћења енергије, углавном у распону од 70% – 80%, које имају цементне пећи.

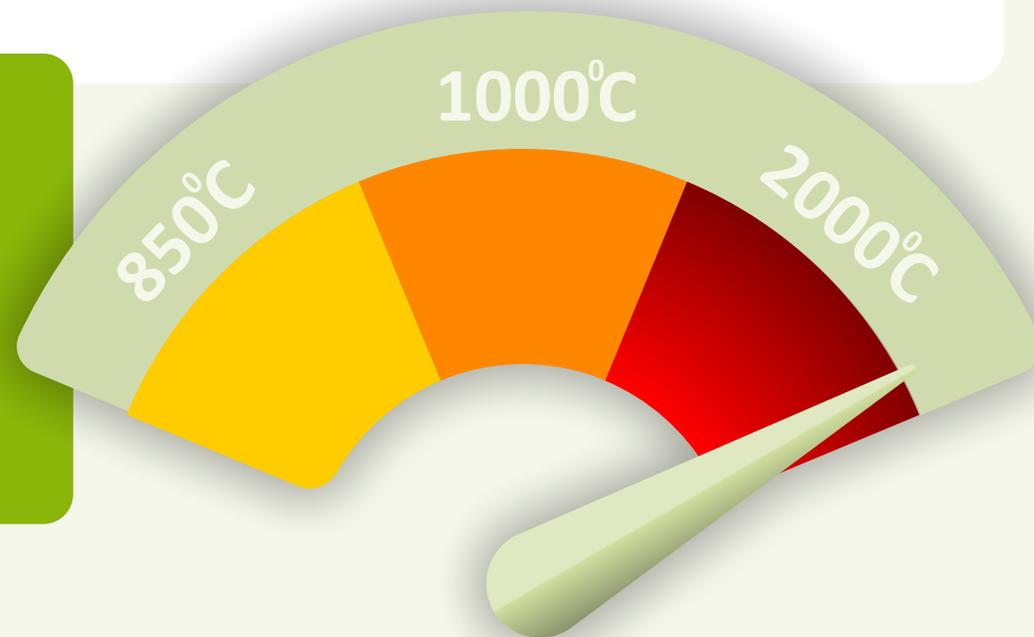
Високе процесне температуре, оксидациони услови и дуго време задржавања гасова у пећи (у предкалцинатору (2-3 сек на 850-900 °C), на улазу у пећ (2-3 сек на 1000-1100 °C) и у ротационој пећи (6-8 сек на > 2000 °C)) доприносе потпуном уништавању органских материја (нпр. постојаних органских загађивача (POPs)).

Алкална оксидациона средина са dobrим условима мешања гасова и сировинског брашна, обезбеђује добро сагоревање са једне стране и спречавање формирања угљен-монооксида (CO), са друге. Такође, ови услови су погодни за апсорпцију киселих гасовитих компоненти попут HF, HCl, SO₂ на алкалним реактантима, што као резултат има њихове снижене емисије са изузетком веома испарљивих елемената као што су жива (Hg) и талијум (Tl).

Услед повећаног садржаја влаге и потребе за вишком ваздуха које захтевају алтернативна горива у ротационим пећима стварају се неповољни услови за формирање оксида азота (NO_x). До смањене емисије NO_x долази услед поновног сагоревања насталих оксида у редукционим условима, који се стварају на улазу у пећ или предкалцинатору, у случајевима када се користе крупнија алтернативна горива.

Цементне пећи имају висок капацитет задржавања тешких метала (везивање тешких метала у честицама) из разлога што се све минералне компоненте, неиспарљиви потенцијално токсични елементи (PTEs) и други елементи у траговима, у потпуности уграђују у кристалну решетку клинкера.

На исти начин у цементним пећима долази и до потпуног искоришћења пепела који настаје сагоревањем горива, док се прашина бајпаса која се генерише током производње обично користити као додаток за производњу цемента.



3. ЗАХТЕВИ ЗА ЕКОЛОШКИ БЕЗБЕДНО СПРОВОЂЕЊЕ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА

3.1 Правни и институционални оквир

Законодавно - правни и стратешки оквир Републике Србије

Област управљања отпадом регулисана је **Законом о управљању отпадом** („Сл. гласник РС“, бр. 109/2025) (у даљем тексту: Закон).

У складу са европским директивама, национално законодавство засновано је на начелу хијерархије управљања отпадом, и промовише спречавање настајања отпада, поновну употребу и рециклажу, друге операције поновног искоришћења (нпр. искоришћење отпада у циљу добијања енергије) и на крају сигурно одлагање отпада.

Чланом 5. став 1. тачка 56. дефинисана је ко-инсинерација (су-спаљивање) као термички третман отпада у стационарном или мобилном постројењу чија је првенствена сврха производња енергије или производа и који користи отпад као основно или додатно гориво, укључујући третман путем оксидације, као и остале поступке термичког третмана отпада као што су пиролиза, гасификација или плазма поступак, ако се супстанце које су резултат обраде накнадно спаљују.

Узимајући у обзир домаћу и европску регулативу у области управљања отпадом, употреба отпада као алтернативног горива представља **ко-инсинерацију**. У ротационој пећи за печење клинкера отпад се термички третира, односно енергија од сагоревања отпада се користи за процес производње цементног клинкера. Дакле, отпад је у овом случају алтернативно гориво које замењује конвенционално гориво, односно његову енергетску вредност. Приликом ко-инсинерације, односно термичког третмана у цементним пећима, нема остатака, већ се сав пепео везује у клинкер.

Чланом 50. овог Закона, утврђено је поновно искоришћење отпада за исту или другу намену, за рециклажу или друге операције поновног искоришћења, ради добијања сировине за производњу истог или другог производа, као секундарне сировине или ради искоришћења вредности отпада његовом биоразградњом или суспаљивањем уз искоришћење енергије. Истим чланом је утврђено да се термички третман отпада који испуњава стандарде за поновну употребу или поновно искоришћење, врши само ако је то економски оправдано и не угрожава здравље људи и животну средину. Надлежности и поступак издавања дозвола за складиштење, третман и одлагање отпада дефинисани су члановима 77. до 88. Закона.

Чланом 89. Закона дозвољава се увоз одређених врста неопасног отпада ради искоришћења у енергетске сврхе, искључиво под условом да постоји постројење за искоришћење тог отпада за чији рад је издата дозвола, у складу са Законом.



ЗАКОН О УПРАВЉАЊУ ОТПАДОМ

Имајући у виду да су расположиве количине адекватно припремљеног домаћег отпада који се може користити за ко-процесуирање изузетно мале, увозом одређених врста неопасног отпада, обезбедиле би се потребне количине алтернативног горива за већ постојеће капацитете цементне индустрије у Србији, којима би се повећала њена конкурентност смањењем зависности од фосилних горива и стекли услови за значајно смањење емисионог фактора CO₂ по тони цемента. Алтернативна горива омогућавају дугорочну енергетску сигурност нашој индустрији, стабилну профитабилност и отварају простор за нове инвестиције, уз додатну перспективу решавања проблема са домаћим отпадом и јачања циркуларне економије.

Граничне вредности појединих компоненти у отпаду за ко-инсинерацију утврђене су **Правилником о категоријама, испитивању и класификацији отпада** („Сл. гласник РС“, бр. 56/2010, 93/2019, 39/2021 и 65/2024). У Прилогу 9. Правилника је прописана листа параметара за испитивање отпада за потребе термичког третмана, као [и граничне вредности појединих компоненти у отпаду за ко-инсинерацију](#). Обзиром да се алтернативно гориво добија из отпада, његове карактеристике директно зависе од садржаја компоненти које морају задовољавати граничне вредности из Табеле 2.

Табела 2 - Граничне вредности (ГВ) појединих компоненти у отпаду за ко-инсинерацију ¹⁾

| ПАРАМЕТАР | као алтернативно гориво | за материјално искоришћење (алтернативне сировине) | ПАРАМЕТАР | као алтернативно гориво | за материјално искоришћење (алтернативне сировине) |
|---------------------------------------|-------------------------|--|---|-------------------------|--|
| Калоријска вредност, MJ/kg | > 8 | - | Вискозитет на 20°C (односи се на отпадна уља) | 250 cp | - |
| Укупни сумпор, S | 3% | 1% | Жива, Hg | 0,5 ²⁾ mg/kg | 0,5 mg/kg |
| Укупни хлор, Cl | 2% | - | Кадмијум, Cd | 2 ²⁾ mg/kg | 0,8 mg/kg |
| Укупни флуор (F), бром (Br) и јод (I) | 0.5% | - | Калај, Sn | 10 ²⁾ mg/kg | 50 mg/kg |
| Укупни халогени изражени као Cl | 2% | 0,5% | Кобалт, Co | 20 ²⁾ mg/kg | 30 mg/kg |
| Арсен, As | 15 ²⁾ mg/kg | 20 mg/kg | Никл, Ni | 100 ²⁾ mg/kg | 100 mg/kg |
| Антимон, Sb | 5 ²⁾ mg/kg | 1 mg/kg | Олово, Pb | 200 ²⁾ mg/kg | 50 mg/kg |
| Бакар, Cu | 100 ²⁾ mg/kg | 100 mg/kg | Талијум, Tl | 3 ²⁾ mg/kg | 1 mg/kg |
| Баријум, Ba | 200 ²⁾ mg/kg | 600 mg/kg | Хром укупан, Cr | 100 ²⁾ mg/kg | 100 mg/kg |
| Берилијум, Be | 5 ²⁾ mg/kg | 3 mg/kg | Цинк, Zn | 400 ²⁾ mg/kg | 400 mg/kg |
| Ванадијум, V | 100 ²⁾ mg/kg | 200 mg/kg | PCB | 30 mg/kg | - |

¹⁾ Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада ("Сл. гласник РС", бр. 56/2010, 93/2019, 39/2021 и 65/2024).

²⁾ на 25 MJ/kg. Вредности су дате на основу ниже калоријске вредности отпада. Вредност 25 MJ/kg се односи на калоријску вредност каменог угља. Ако је калоријска вредност отпада већа или мања од 25 MJ/kg допустивост садржаја тешких метала и осталих загађујућих материја се мења пропорционално.

Додатно, овим Правилником се уређују: каталог отпада; листа категорија отпада (Q листа); листа категорија опасног отпада према њиховој природи или активности којом се стварају (Y листа); листа компоненти отпада који га чине опасним (C листа); листа опасних карактеристика отпада (H листа); листа поступака и метода одлагања и поновног искоришћења отпада (D и R листа); граничне вредности концентрације опасних компоненти у отпаду на основу којих се одређују карактеристике отпада; врсте параметара за одређивање физичко-хемијских особина опасног отпада намењеног за физичко-хемијски третман; врсте параметара за испитивање отпада за потребе термичког третмана; врсте параметара за испитивање отпада и испитивање елуата намењеног одлагању; врсте, садржина и образац извештаја о испитивању отпада и начин и поступак класификације отпада.

Уредба о техничким и технолошким условима за пројектовање, изградњу, опремање и рад постројења и врстама отпада за термички третман отпада, граничне вредности емисија и њихово праћење („Сл. гласник РС“, бр. 103/2023), попут Директиве ЕУ о индустријским емисијама [5], препознаје ротационе цементне пећи као постројења за ко-инсинерацију отпада, као што је дато у Прилогу 3. Део I Уредбе, односно Прилогу VI, Део 4. ЕУ Директиве.

Оба документа утврђују **граничне вредности емисија (ГВЕ) загађујућих материја у ваздух** из постројења за ко-инсинерацију отпада, односно из пећи за производњу цемента.

Употреба отпада у енергетске сврхе ко-инсинерацијом препозната је у 8 (осам) кључних стратешких докумената Републике Србије и то:



Програмом управљања отпадом у Републици Србији за период 2022.-2031. године („Сл. гласник РС“, бр. 12/2022) успостављен је општи циљ за развијање одрживог система управљања отпадом у сврху очувања ресурса и смањења негативних утицаја на животну средину, здравље људи и деградацију простора. Он укључује: превенцију настајања отпада, смањење количина рециклабилног отпада који се одлаже на депоније, смањење удела биоразградивог отпада у одложеном комуналном отпаду, смањење негативног утицаја одложеног отпада на животну средину, климу и људско здравље и управљање насталим отпадом по принципима циркуларне економије.

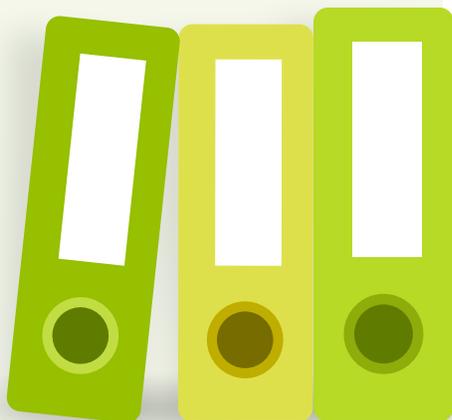
За остварење општих и посебних циљева Програма, у складу са релевантним директивама ЕУ у вези са управљањем отпадом и према израђеним плановима имплементације, неопходно је потпуно усклађивање са захтевима Директива ЕУ и реализацију предузетих обавеза у процесу приступања ЕУ.

План за развој система управљања отпадом у Србији, између осталог, укључује једно постројење за спаљивање отпада и добијање енергије у Београду, капацитета 340.000 t/годишње, и два постројења за термички третман (термовалоризацију) нерциклабилног отпада у Нишу и Крагујевцу, уз производњу електричне и топлотне енергије, поред три цементаре које могу користити енергију добијену у поступку спаљивања отпада у цементним пећима.

Програмом развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022.-2024. године („Сл. гласник РС“, бр. 137/2022) област управљања отпадом издвојена је као област од посебног значаја за стварање основних предуслова за креирање амбијента који ће подржати активности преласка на циркуларну економију. Ефикасан систем управљања отпадом, селекција и рециклажа, препознати су овим Програмом као важни елементи циркуларне економије, без којих овај модел није остварив. Поред модернизације система управљања отпадом, за остваривање циркуларне економије кључни су и повећање стопе рециклирања материјала и енергетско искоришћење фракција комуналног отпада. У том смислу Програм дефинише основни проблем за увођење циркуларне економије, а то је недостатак целовитог система примарне селекције, односно разврставања отпада на месту настанка, што је неопходно за даљи развој управљања отпадом, а самим тим и циркуларне економије.

Како би се процес транзиције са линеарне на циркуларну економију спровео, Програм предвиђа уређивање система управљања отпадом кроз измену законодавног оквира, анализу фискалне политике у овој области (накнаде и субвенције), успостављање система за размену података о отпаду између привредних субјеката, подизање свести о превенцији настајања отпада кроз све структуре друштва.

У Програму развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022.-2024. године, управљање отпадом је оцењено као главна слаба тачка у целокупном систему (**неадекватна примена прописа, непрепознавање специфичности микро и МСПП у оквиру законских прописа, лоше стање комуналне инфраструктуре, изостанак системског приступа, мали проценат примарне селекције отпада, изостанак санкција и адекватних подстицајних мера, недовољна свест и едукација грађана**).



Стратегијом одрживог урбаног развоја Републике Србије до 2030. године („Сл. гласник РС“, бр. 47/2019) препознат је преовлађујући начин управљања отпадом депоновањем (преко 97%) и изостављање поступка инсинерације и енергетског искоришћења отпада, као један од основних недостатака урбаног развоја у Републици Србији. За остварење једног од посебних стратешких циљева који се односи на ублажавање климатских промена унапређењем квалитета свих параметара животне средине, система управљања отпадом и унапређења енергетске ефикасности, Стратегијом је утврђена мера која се односи на елиминисање дивљих депонија, реализацију нових и уређење постојећих депонија, складишта и постројења за прераду отпада, већи степен примарне селекције и рециклаже на територији урбаних насеља.

Стратегија нискоугљеничног развоја Републике Србије за период од 2023. до 2030. године са пројекцијама до 2050. године („Сл. гласник РС“, бр. 46/2023), даје значај сектору отпада чији је удео у укупним националним GHG емисијама нешто већи од 4%.

Имајући у виду да се управљање чврстим отпадом у Републици Србији углавном заснива на одлагању отпада на депоније, углавном због одсуства сепарације на извору, већина органског отпада која заврши на депонијама доприноси емисијама GHG. Одсуство система за сакупљање и третман депонијског гаса значи да се исти директно емитује у атмосферу у виду метана (CH₄).

Овим стратешким документом још једном је скренута пажња на чињеницу да је правни оквир за политику управљања отпадом у Републици Србији делимично усклађен са законодавством ЕУ и додатно да је примена слабија од прописане.

Политике управљања отпадом не препознају смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште као важан покретач стратешког развоја у овом сектору.





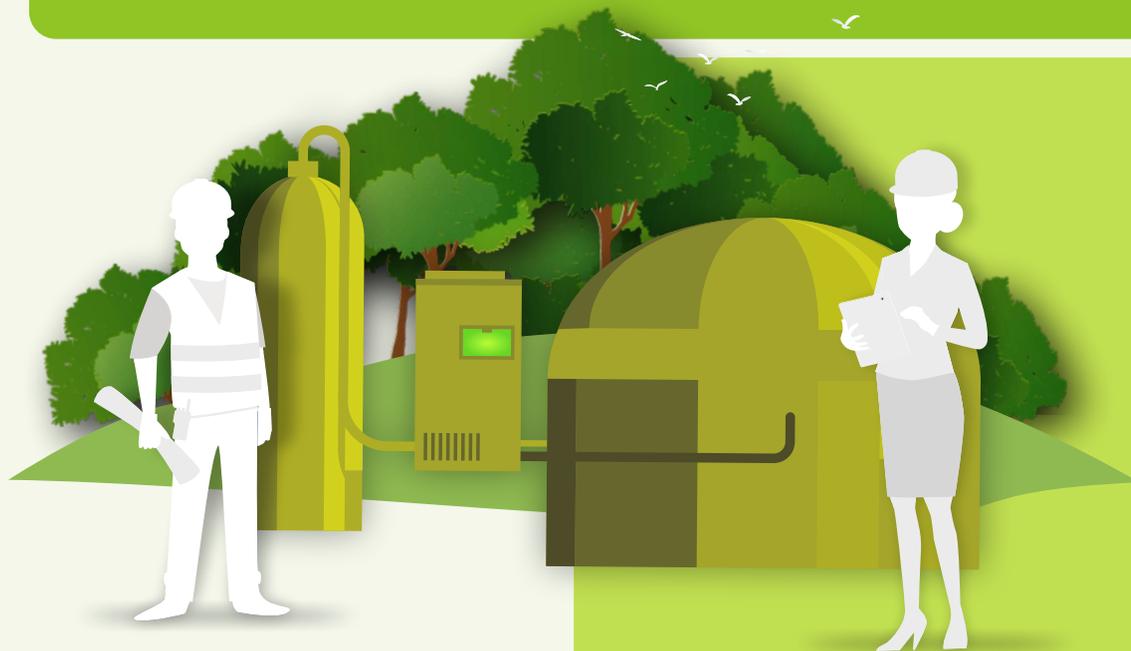
Интегрисани национални енергетски и климатски план Републике Србије за период до 2030. године са визијом до 2050. године („Сл. гласник РС“, бр. 70/2024) (ИНЕКП) и Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2040. године са пројекцијама до 2050. године („Службени гласник РС“, бр. 94/2024) представљају основна документа којима се утврђују стратешки приоритети Републике Србије у оквиру 5 димензија и то: декарбонизација, енергетска ефикасност, енергетска сигурност, унутрашње енергетско тржиште и истраживање, иновације и конкурентност. ИНЕКП-ом су дефинисани национални циљеви за декарбонизацију уз фокус на смањење емисије GHG и удео енергије произведене из обновљивих извора. Овим стратешким документом је процењено да ће чврста горива, као и ОИЕ и отпад представљати изворе енергије са највећим доприносом до 2050. године, показујући пораст од 9%, односно 38% у поређењу са 2020. годином.

Стратегијом индустријске политике Републике Србије од 2021. до 2030. године („Сл. гласник РС“, бр. 35/2020) је у складу са националном класификацијом КД2010, поред сектора комплетне прерађивачке индустрије, рударства, снабдевања електричном енергијом, снабдевања водом и грађевинарства, обухваћен и сектор управљања отпадом.

И овим, као и претходно поменутиим националним стратешким документима, препознат је недостатак неопходне инфраструктуре за управљање отпадом (системи прикупљања, сортирања, складиштења и процесуирања отпада) и отпадним водама, као и недовољне стопе рециклаже дрвета и пластике, које имају велики потенцијал укључивања у систем циркуларне економије. Појава значајних губитака потенцијално вредних сировина услед великих количина отпада (укључујући и амбалажни отпад), које се сваке године одлажу изван комуналног система за управљање (нелегалне депоније), је такође евидентирана приликом актуелног сагледавања стања које би требало да представља подлогу за даљи рад на разradi стратешких одговора.

Нацртом **Просторног плана Републике Србије од 2021. до 2035. године**, који је у процедури усвајања, као један од општих циљева дефинисан је развој одрживог система управљања отпадом у циљу смањења загађења животне средине и деградације простора, који обухвата:

- изградњу инфраструктуре за управљање комуналним отпадом (регионални центри за управљање отпадом - регионалне депоније, трансфер станице, постројења за сепарацију рециклабилног отпада, постројења за компостирање, постројења за термички третман и др.) на основу рационалног просторног концепта управљања отпадом;
- изградњу постројења за третман и одлагање опасног отпада и посебних токова отпада (отпадне батерије и акумулатори, отпадна уља, отпадне гуме, неупотребљива возила, медицински отпад, отпад животињског порекла и др.);
- затварање и санацију постојећих сметлишта комуналног отпада и контаминираних локација опасног отпада и ревитализацију простора.



Програмом управљања муљем у Републици Србији за период 2023.–2032. године („Сл. гласник РС“, бр. 84/2023) разматрана су могућа краткорочна и дугорочна решења за успостављање безбедног, одрживог и исплативог система управљања муљем из постројења за пречишћавање отпадних вода, у складу са принципима циркуларне економије и ЕУ прописима.

Програмом су препознате опције ко-инсинерације муља у цементној индустрији и термоелектранама, које се примењују у већем броју земаља чланица ЕУ, као и моноинсинерација и сличне технологије које се примењују ради енергетског искоришћења муља у дугорочном периоду и искоришћењу фосфора. Да би се премостио јаз до дугорочног решења којим је предвиђена имплементација постројења за моноинсинерацију са монодепонијама или примена у пољопривреди, Програмом је предвиђена ко-инсинерација муља у фабрикама цемента која представља увођење алтернативних горива и сировина у стандардни процес производње цемента, чиме се замењују конвенционална горива и сировине.

Истим Програмом је утврђена потреба да се дефинишу сви кораци које треба да предузму оператер постројења за пречишћавање отпадних вода или ЈКП и заинтересоване фабрике цемента у циљу спровођења ко-инсинерације муља.

Институционални оквир

У складу са Програмом управљања отпадом у Републици Србији, кључну институционалну одговорност у области управљања отпадом имају:

- Народна скупштина и Влада
- Министарство надлежно за послове заштите животне средине
- Министарство надлежно за послове пољопривреде, шумарства и водопривреде
- Министарство надлежно за послове рударства и енергетике
- Министарство надлежно за послове здравља и фармације
- Министарство надлежно за послове рада, запошљавања, бораčkih и социјалних питања
- Министарство надлежно за послове грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре
- Агенција за заштиту животне средине
- Надлежни орган аутономне покрајине (АП)
- Надлежни орган јединице локалне самоуправе (ЈЛС)

3.2 Еколошки захтеви



Еколошки захтеви за безбедно спровођење ко-процесуирања

- Спречити или задржати на минимуму додатне емисије и друге негативне ефекте на животну средину од ко-процесуирања
- Емисије у ваздух и воду из ко-процесуирања не смеју бити веће од емисија из производње цемента без ко-процесуирања
- Цемент и производи на бази цемента (бетон, малтер) не смеју постати колектор за потенцијално токсичне елементе (нпр. тешки метали).

Референтни документ ЕУ о најбољим доступним техникама (ВАТ) за третман отпада [6] сматра да су за цементне пећи у којима се отпад ко-процесуира од највеће важности емисије загађујућих материја у ваздух. Емисије загађујућих материја у воду, због саме природе процеса, у највећем броју случајева далеко су испод граничних вредности.

Емисије које ЕУ Директива о индустријским емисијама [5] и Регистар испуштања и преноса загађујућих супстанци [7] сматрају релевантним укључују:

- Прашкасте материје, SO₂, NO_x, CO, NH₃;
- Сва неорганска гасовита једињења хлора;
- Сва неорганска гасовита једињења флуора;
- Метале (Hg, Tl, As, Sb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, V);
- Диоксине и фуране (PCDD/F) и
- Бензен.

3.2.1 Емисије загађујућих материја у ваздух

Једно од најважнијих питања заштите животне средине у процесу производње цементног клинкера (цемента), односи се на емисије загађујућих материја у ваздух. Оне произилазе из физичко-хемијских реакција сировина и као резултат сагоревања горива.

Главни састојци излазних гасова из цементне пећи су **азотови оксиди (NO_x) из процеса сагоревања горива; CO₂ из калцинације CaCO₃ и сагоревања горива; водена пара, SO₂, испарљиви метали и органска једињења** из процеса сагоревања и из сировина. Додатно, због саме прашкасте природе сировинског материјала и финалног производа, у готово свим фазама процеса производње може доћи до емисије **прашине**.

Количине и састав гасова које настају током процеса сагоревања зависе првенствено од сировина, употребљеног горива и врсте технолошког процеса.



Генерално, за постројења која користе алтернативна горива, **граничне вредности емисије загађујућих материја у ваздух** (ГВЕ) прописане су Уредбом о техничким и технолошким условима за пројектовање, изградњу, опремање и рад постројења и врстама отпада за термички третман отпада, граничне вредности емисија и њихово праћење (Сл. гласник РС, бр. 103/2023) у односу на средње дневне вредности, како је приказано у Табели 3. Додатно, ГВЕ загађујућих материја у ваздух, утврђене су и IPPC дозволама за свако постројење понаособ.

Интегрисана (IPPC) дозвола представља најсложенију дозволу у области заштите животне средине и обухвата услове рада постројења узимајући у обзир утицаје на све медијуме животне средине, одрживо коришћење ресурса, примену најбољих доступних техника и могуће утицаје након затварања постројења. IPPC дозвола представља потврду да постројење или активност која се у њему обавља одговарају захтевима уређеним Законом о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине.

Националне ГВЕ у ваздух из постројења за ко-инсинерацију отпада у потпуности су усаглашене са ГВЕ прописаним у Директиви ЕУ 2010/75/ЕУ о индустријским емисијама (интегрисано спречавање и контрола загађења) и пратећим документима.

Емисије прашкастих материја из процеса печења клинкера могу се у значајној мери смањити приликом ко-процесуирања. Наиме, употреба отпадне пластике може резултирати смањењем емисија РМ између 15% - 75%, а за њом следи канализациони муљ са 13% - 55% могућности смањења, затим комунални отпад, отпадна уља и отпадне гуме са најмањим потенцијалом за смањење емисије РМ, који износи 8% - 18% [8].

Фактори који одређују емисије метала из процеса производње клинкера су понашање појединих метала у систему ротационе пећи, карактеристике коришћених сировинских материјала и горива, као и ефикасност отпаивања излазних гасова. Сама улазна ситуација је одређена концентрацијом метала у коришћеним сировинама и горивима. Како је масени однос **сировина:гориво** за производњу клинкера приближно 10:1, то значи да су улази који се односе на сировине одлучујући за ниво емисија.

Пракса је показала да коришћење отпада може резултирати смањеним или повећаним укупним уносом појединачних елемената у систем пећи. Неиспарљиви метали су у великој мери „закључани“ у матрици клинкера и напуштају систем пећи са струјом клинкера. Полуиспарљиви метали попут **Pb** и **Cd** формирају стабилне циклусе у систему пећи. Ови елементи се испуштају из циклуса и велика количина се хвата или у струји клинкера или у прашину. Од посебног значаја су жива - **Hg** и талијум - **Tl**, због њихове испарљивости. Стога, да би се контролисала емисија живе и испарљивих метала, неопходно је да се ограничи њихов улаз у систем пећи.

Исто важи и за емисије **SO₂**, **CO** и **ТОС**, под условом да се ко-процесуирањем отпада не повећава унос испарљивих органских једињења путем горива.

Хлор може имати негативан утицај на процес производње цементног клинкера, па се стога његова концентрација одржава што је могуће нижом, како би се избегли оперативни проблеми у систему пећи, нпр. блокада у предгрејачу, корозија или заустављање рада пећи. Једињења хлора садржана у сировинама и горивима током процеса печења клинкера реагују са алкалијама у систему пећи и формирају алкалне хлориде. Ова једињења, која су у почетку у гасовитом стању, кондензују се на улазу у пећ или прашину из пећи, и поново улазе у систем ротациони пећи и испаравају. Ефикасно смањење цикличног стварања алкалних хлорида постиже се постављањем бајпаса на улазу у пећ, који омогућава хлађење излазних гасова. Како се гасни ток хлади, гасовита једињења алкалних хлорида кондензују се на честицама прашине из пећи и затим се могу уклонити из система.

Диоксини и фурани (PCDDs/PCDFs) припадају групи постојаних органских загађујућих материја (POPs). У складу са Техничким смерницама [9], њихово формирање се успешно избегава обезбеђивањем стабилних услова сагоревања, који подразумевају високе температуре, довољан вишак кисеоника, потпуно мешање и адекватно време задржавања гасова.

Индикације из свеобухватних програма мерења садржаја диоксида и фурана на 110 цементних пећи из 11 земаља ЕУ [10] су да су у радној пракси емисије PCDDs/PCDFs знатно испод прописане границе од 0,1 ng I-TEQ/m³, без обзира на врсту отпада који се користи.

Искуства домаћих цементара су такође веома позитивна. Измерене вредности емисије садржаја диоксида и фурана за потребе израде научно-стручног рада су испод дозвољене граничне вредности [11].

Жива је релативно редак елемент са просечном концентрацијом у земљиној кори од 0,000005%, па је из тих разлога њено присуство у фосилним горивима и природним сировинама које се користе у производњи цемента без већег значаја.

Ко-процесуирање алтернативног горива и сировина које садрже живу, може да представља додатни извор њених емисија. Испарљива природа живе и могућност само делимичног задржавања у систему цементне пећи, омогућавају да се у форми гасовитих једињења она ослободи у атмосферу.

Из тих разлога, унос живе из алтернативних сировина и горива у систем цементне пећи је ограничен ([Табела 2](#)) и под строгом је контролом.

Како би се испунила регулаторна ограничења, сви улазни материјали, појединачно подлежу испитивању садржаја живе у лабораторији овлашћеној од стране надлежног министарства, а при пријему у фабрику и додатно се пре саме употребе материјала садржај живе испитује у складу са планом интерне контроле квалитета фабрике.

Процес производње клинкера, у цементним пећима, је такав да природно обезбеђује услове који спречавају настанак **диоксида и фурана** PCDDs/PCDFs, тачније, сагоревање се одвија при врло високим температурама (температура пламена је између 1800–2000 °C, а температура материјала око 1450 °C), уз вишак ваздуха и време задржавања гасова на температурама изнад 850 °C које је дужи од 2 секунде. Ови параметри су усклађени са најбољим доступним техникама (BAT) наведеним у референтном документу ЕУ (BREF) [12].

Додатно, према BAT закључцима за производњу цемента, усвојеним 2013. године од стране Европске комисије, а који се односе на Директиву о индустријским емисијама (IED) [5], избегавање „de novo“ механизма захтева брзо хлађење димних гасова кроз температурни опсег 450–200 °C, стабилно сагоревање и контролу уноса горива и сировина. Ови захтеви су стандардни део рада савремених цементних пећи.

Из наведених разлога, правилно вођен процес у цементним пећима укључује следеће кључне BAT мере:

- Обезбеђивање високих температура, вишка кисеоника и довољног времена задржавања гасова, у складу са IED [5] и Техничким смерницама [9];
- Брзо и контролисано хлађење излазних гасова, у складу са BREF [12];
- Забрану уношења алтернативних горива током покретања и заустављања пећи, у складу са Техничким смерницама [9];
- Контролисане тачке уношења алтернативних сировина и горива како би се обезбедило њихово потпуно сагоревање у зони високих температура, у складу са BREF (2013.) и Техничким смерницама [9].

Према извештајима Европске комисије [14] и препорукама Светске здравствене организације [13], када се ови услови испуне, цементна индустрија се не сматра значајним извором PCDDs/PCDFs емисија, управо захваљујући природи процеса и примени BAT мера.



Подаци о емисијама измереним у цементним пећима које ко-процесуирају отпад, дате су у табели 3. Распони емисија у фабрикама цемента зависе у великој мери од природе сировина и горива који се користе, старости и врсте технолошког процеса у фабрици, а такође и од услова које прописују надлежни органи.

| Загађујућа материја | Гранична вредност емисије (mg/нормални m ³) | Фабрике цемента у ЕУ ¹⁾ | Фабрике цемента у Србији |
|---|---|------------------------------------|--------------------------|
| Укупне прашкасте материје | 20-30 | 0,27-227 ²⁾ | 1 - 14 |
| SO ₂ ⁸⁾ | 100-400 | max 4837 ³⁾ | 3 - 400 |
| ТОС ⁸⁾ | 50-100 | 1 – 60 ⁴⁾ | 4 - 87 |
| HCl | 10 | 0,02 – 20 | 0,01 – 7,40 |
| HF | 1 | 0,009 – 1,0 | 0,01 – 0,74 |
| NO _x (постојећа/нова постројења) | 800/500 | 145-2040 | 318 - 780 |
| CO | 2500 | 200 – 2000 ⁵⁾ | 147 - 1800 |
| Σ (Cd, Tl) | 0,05 | 0 – 0,68 ⁶⁾ | 0,002 – 0,008 |
| Hg | 0,05 | 0 – 0,57 ^{6),7)} | 0,002 – 0,020 |
| Σ (Sb, As Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) | 0,5 | 0 – 4,0 ⁶⁾ | 0,02 – 0,08 |
| Диоксини и фурани (PCDDs/PCDFs) ng I-TEQ/Nm ³ | 0,1 | 0,000012 – 0,27 | 0,002 – 0,004 |

Табела 3 - Граничне вредности емисије загађујућих материја у ваздух при ко-инсинерацији отпада са прегледом података о распонима емисија из цементних пећи у ЕУ [12] и Србији

¹⁾ Распони емисија су годишњи просеци и индикативне вредности засноване на различитим техникама мерења. Референтни садржај O₂ је обично 10%.

²⁾ Бројке представљају вредности континуираних мерења прашине у излазном гасу из 253 ротационе пећи. 8 мерења је изнад ГВЕ.

³⁾ Садржај SO₂ у излазном гасу представљен је као највећа вредност измерена у 253 ротационе пећи. 11 мерења су изнад границе. Од њих, 7 мерења је извршено у фабрикама са степеном супституције фосилног горива од 0%, 3 мерења су из фабрика са 0% – 10% супституције, а једна фабрика која је премашила ГВЕ је са степеном супституције фосилног горива изнад 40%.

⁴⁾ Просечне годишње вредности из спроведених 120 мерења; само неколико вредности се креће изнад 60 mg/Nm³ (до 122,6 mg/Nm³ или 0,28 kg/тона клинкера).

⁵⁾ У неким случајевима, емисије CO могу бити веће од 2.000 mg/Nm³ и до 5.000 mg/Nm³ (11,5 kg/тона клинкера), нпр. због смањења садржаја NO_x.

⁶⁾ „0“ подразумева „границу детекције“, тачније најнижу концентрацију која може са сигурношћу да се детектује.

⁷⁾ Прикупљено из 306 локалних мерења са просечном вредношћу од 0,02 mg/Nm³ и горњом вредношћу од 0,57 mg/Nm³ (1.311 mg/тона клинкера).

⁸⁾ Гранична вредност за укупни органски угљеник (ТОС) и сумпор диоксид не примењује се ако они не потичу од инсинерације отпада.

3.2.2 Емисије загађујућих материја у воду

Вода се у процесу производње цемента користи претежно као расхладни медиј (хлађење опреме) и за одржавање чистоће постројења. Отпадне воде настале из наведених процеса се обично испуштају у затворена или јавна постројења за пречишћавање отпадних вода. Током процеса производње цемента не стварају се отпадне процесно-технолошке воде.

Граничне вредности емисија загађујућих материја у отпадној води утврђене су Уредбом о техничким и технолошким условима за пројектовање, изградњу, опремање и рад постројења и врстама отпада за термички третман отпада, граничне вредности емисија и њихово праћење („Сл. гласник РС“, бр. 103/2023) и приказане у табели испод. Националне ГВЕ у потпуности су усаглашене са ГВЕ прописаним европском Директивом 2010/75/EУ о индустријским емисијама [5] и пратећим документима.

| Загађујућа материја | ГВЕ изражена као масена концентрација нефилтрираних узорака | | Резултати испитивања загађујућих материја у отпадној води у фабрикама цемента у Србији |
|---|---|-----------------|--|
| | 95% 30 mg/l | 100% 45 mg/l | |
| Укупне суспендоване чврсте честице | | | 1 – 30 |
| Жива и њена једињења, изражена као жива (Hg) | 0,03 mg/l | | <0,0003 - <0,0007 |
| Кадмијум и његова једињења, изражена као кадмијум (Cd) | 0,05 mg/l | | <0,0004 - <0,003 |
| Талијум и његова једињења, изражена као талијум (Tl) | 0,05 mg/l | | - |
| Арсен и његова једињења, изражена као арсен (As) | 0,15 mg/l | | <0,003 - <0,01 |
| Олово и његова једињења, изражена као олово (Pb) | 0,2 mg/l | | <0,003 - <0,01 |
| Хром и његова једињења, изражена као хром (Cr) | 0,5 mg/l | | <0,003 - <0,007 |
| Бакар и његова једињења, изражена као бакар (Cu) | 0,5 mg/l | | <0,02 |
| Никал и његова једињења, изражена као никал (Ni) | 0,5 mg/l | | <0,003- <0,008 |
| Цинк и његова једињења, изражена као цинк (Zn) | 1,5 mg/l | | <0,03 |
| Диоксини и фурани, дефинисани као збир појединачних диоксида и фурана | 0,3 ng/l | | - |

Табела 4 - Граничне вредности емисија (ГВЕ) загађујућих материја у отпадној води

Ниво емисија загађујућих материја у воду које емитују фабрике цемента у Србији у потпуности је усклађен са одредбама и граничним вредностима дефинисаним националним прописима.

Фабрике цемента у Србији, у својим производним постројењима, примењују најбоље доступне технике за смањење загађујућих емисија у ваздух и воду.

3.2.3 Емисије загађујућих материја у земљиште

Током процеса производње цемента не долази до директних испуштања загађујућих материја у земљиште. Све сировине, помоћни материјали и горива складиште се у адекватно пројектованим и контролисаним условима, што спречава њихово неконтролисано просипање или инфилтрацију у земљиште.

Потенцијални ризици загађења земљишта везани су углавном за активности руковања горивима, уљима и хемикалијама које се користе за одржавање постројења. У циљу спречавања ових ризика примењују се следеће мере:

- изградња водонепропусних подова и заштитних баријера у зонама складиштења и руковања;
- употреба затворених резервоара и система за сакупљање цурења;
- редовно одржавање опреме и контрола стања резервоара;
- обука запослених у области безбедног руковања материјалима.

Захваљујући овим мерама, уобичајено пословање цементаре не доводи до контаминације земљишта. Све евентуалне инцидентне ситуације (нпр. цурење горива) третирају се у складу са интерним процедурама заштите животне средине и важећим законским прописима.

3.2.4 Мониторинг, мерење и извештавање о емисијама

3.2.4.1 Мониторинг и мерење

Обавеза мониторинга загађујућих материја у фабрикама цемента проистиче из Закона којим се уређује спречавање и контрола загађивања животне средине [15], за сваки аспект потенцијалног утицаја на животну средину.

Обим и динамика спровођења редовног мониторинга загађујућих материја у ваздух, воду и земљиште прописани су следећим националним прописима:

- Уредбом о мерењима емисија загађујућих материја у ваздух из стационарних извора загађивања („Сл. гласник РС“, бр. 5/2016 и 10/2024);
- Правилником о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и њиховог утицаја на реципијент и садржини извештаја о извршеним мерењима („Сл. гласник РС“, бр. 18/2024);
- Уредбом о систематском праћењу стања и квалитета земљишта („Сл. гласник РС“, бр. 88/2020).

Обим и динамика спровођења редовног мониторинга загађујућих материја у ваздух, воду и земљиште, у постројењима која врше термички третман отпада ко-инсинерацијом прописани су Уредбом о техничким и технолошким условима за пројектовање, изградњу, опремање и рад постројења и врстама отпада за термички третман отпада, граничне вредности емисија и њихово праћење („Сл. гласник РС“, бр. 103/2023).

Услови и начин за спровођење мониторинга емисија загађујућих материја у ваздух, воду и земљиште у фабрикама цемента утврђују се ИПРС дозволом којом се, између осталог, прописује: (1) спецификација методологије за вршења мониторинга; (2) учесталост мерења; (3) правила за тумачење резултата мерења; и (4) обавеза достављања података надлежном органу.

Законом о управљању отпадом („Сл. гласник РС“, бр. 109/2025) прописана је обавеза произвођача отпада да изврши карактеризацију произведеног отпада, у складу са одредбама Правилника о категоријама, испитивању и класификацији отпада („Сл. гласник РС“, бр. 56/2010, 93/2019, 39/2021 и 65/2024) и обезбеди Извештај о испитивању отпада, који је издала стручна организација овлашћена од стране Министарства заштите животне средине.

Први предуслов за покретање набавке алтернативних горива и сировина за потребе производње цемента, јесте поседовање Извештаја о испитивању предметног отпада, који представља потврду његове подобности да се подвргне операцији термичког третмана.

3.2.4.2 Извештавање

Ради праћења квалитативних и квантитативних промена у животној средини и предузимања мера заштите у животној средини воде се национални и локални регистри извора загађивања животне средине у складу са Законом [16].

Регистар извора загађивања животне средине јесте скуп систематизованих података и информација о врстама, количинама, начину и месту уношења, испуштања или одлагања загађујућих материја у гасовитом, течном и чврстом агрегатном стању или испуштања енергије (буке, вибрација, топлоте, јонизујућег и нејонизујућег зрачења) из тачкастих, линијских и површинских извора загађивања у животну средину.

[Национални регистар извора загађивања животне средине](#) води [Агенција за заштиту животне средине](#) у складу са националним прописима [17] и PRTR протоколом Архуске конвенције UNECE и ЕУ уредбом 166/2006 о успостављању Европског регистра испуштања и преноса загађивача.

Национални регистар садржи податке које достављају привредна друштва и друга правна лица и предузетници која представљају изворе загађивања [различитих делатности](#), најкасније до 31. марта текуће године за податке из претходне године, међу којима се налази и производња цемента.



3.2.5 Утицај на животну средину цемента произведеног употребом алтернативних горива и сировина

Процене утицаја на животну средину цемента и производа на бази цемента се обично заснивају на способности испирања тешких метала (излуживање) у воду и земљиште из ових производа.

Неки метали попут живе (Hg), талијума (Tl), кадмијума (Cd), антимона (Sb), арсена (As), олова (Pb) и хрома (Cr), када се нађу у цементу и производима на бази цемента, могу утицати на здравље и животну средину.

Садржај метала у цементу произведеном без алтернативног горива значајно варира у зависности од географског и/или геолошког порекла употребљених сировина и горива. Свеобухватна истраживања су показала да употреба алтернативног горива има само маргинални утицај на садржај метала у клинкеру и цементу.

Разлог за овакво понашање лежи у чињеници да цемент и производи на бази цемента (бетон, малтер и различита хидраулична везива) делују као мултибаријерни систем против ослобађања метала, зато што се приликом:

- производње цемента метали уграђују у кристалну структуру клинкера;
- хидратације цемента метали уграђују у производе хидратације;
- уградње метала у кристалну структуру клинкера формирају нерастворљиви минерали и
- приликом хидратације цемента, отпуштени метали инкапсулирају у густу структуру бетона (висока отпорност на дифузију).

Испитивања на бетону и малтеру су показала да су концентрације метала у елуатима приметно испод оних које су прописане националним законодавством држава чланица ЕУ (<https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/guidelines-pre-and-co-processing-waste-cement-production-use-waste-alternative-fuel-and-raw-material>).

За бетоне и малтере изложене агресивном дејству средине, постоји велики број различитих метода испитивања и утврђивања степена излуживања. Стандардизоване граничне вредности за садржај елемената у елуатима развијене су углавном за грађевинске производе који долазе у додир са водом за пиће.

4. ДОПРИНОСИ КО-ПРОЦЕСУИРАЊА

4.1 Очување животне средине

4.1.1 Смањење емисија CO₂

4.1.2 Смањење емисија загађујућих материја у ваздух

4.1.3 Смањење коришћења необновљивих природних ресурса

4.1.4 Смањење количина отпада који се одлаже на депоније

4.2 Циркуларна економија

4.3 Економске уштеде (државе, локалних заједница и фабрика цемента)

4.4 Решавање изазова савременог друштва



4.1 Очување животне средине

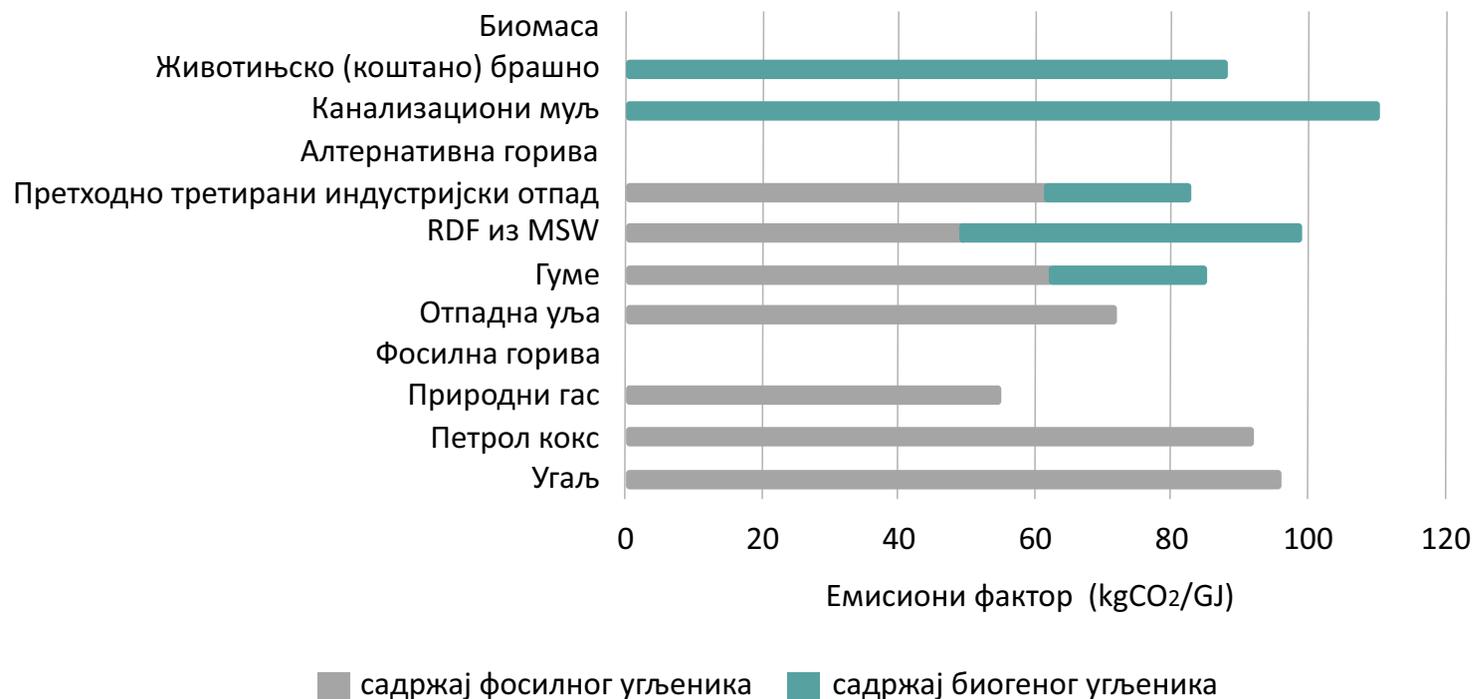
4.1.1 Смањење емисија CO₂

Ко-процесуирање може да допринесе смањењу емисија CO₂ које потичу из производње цементног клинкера и тиме помогне индустрији да оствари националне климатске циљеве.

Производња цемента учествује са око 5% у глобалним емисијама CO₂ [18], од којих 34% настаје као резултат сагоревања фосилних горива, како би се постигле високе радне температуре потребне у систему пећи, док осталих 66% потичу од хемијских процеса којима се добија клинкер, сагоревања горива за производњу електричне енергије за потребу цементне индустрије и транспорта [18].

Ниво смањења директних емисија CO₂ употребом алтернативних горива зависи од емисионог фактора горива и садржаја биомасе.

Емисиони фактори и типични садржај биомасе различитих горива



На слици је дат упоредни преглед емисија CO₂ које настају сагоревањем различитих алтернативних горива и фосилних горива у количини потребној за производњу једног GJ (Гигаџула) енергије.

Производња једног GJ енергије из угља резултира највећом емисијом CO₂ од свих фосилних горива.

Слика 7. Поређење CO₂ емисионих фактора по GJ енергије произведене из различитих горива [2]

Емисије CO₂ настале ко-процесуирањем отпада у поређењу са одлагањем отпада на депоније

Поред доприноса који ко-процесуирање има на смањење емисија CO₂ које потичу из производње цементног клинкера, оно такође значајно утиче и на смањење емисија метана на депонијама.

Ко-процесуирање отпада у цементним пећима и индиректно доприноси смањењу емисије CO₂.

Фракције органског отпада које се одлажу на депонију садрже значајну количину угљеника чијом анаеробном разградњом на одлагалиштима отпада или депонијама настаје метан (CH₄). Ово је посебно важно јер CH₄ има **25 пута већи потенцијал глобалног загревања од CO₂**.

Ко-процесуирањем ових фракција отпада у потпуности се елиминишу емисије метана и тиме индиректно доприноси смањењу укупних GHG емисија.

Одлагање на депоније и производња цемента

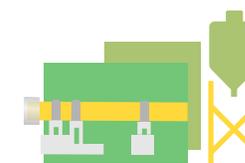
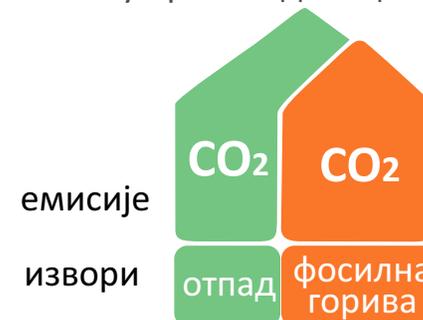


депонија + фабрика цемента

депоновање и излуживање

цемент

Отпад искоришћен као гориво у производњи цемента



фабрика цемента

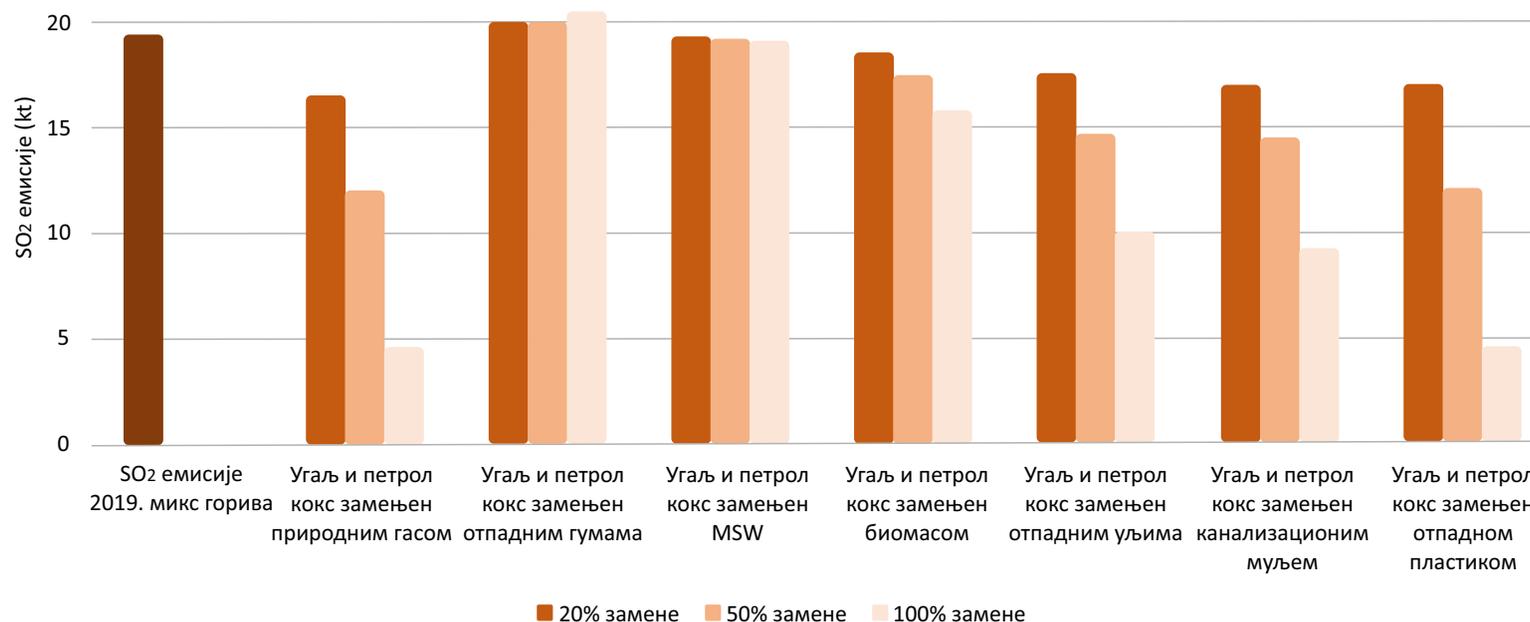
производи

цемент

4.1.2 Смањење емисија загађујућих материја у ваздух [8]

Концентрација сумпора у алтернативним горивима у принципу је много нижа од референтне вредности у конвенционалним фосилним горивима. У зависности од степена супституције, алтернативна горива могу дати различит допринос смањењу емисије SO₂.

Тако на пример, замена угља и петрол-кокса отпадном пластиком потенцијално може довести до највећег смањења емисије SO₂, тачније у распону од 16% - 82%.



Азотови оксиди

Настанак **азотових оксида (NOx)**, зависи од количине азота у гориву, температуре у пећи и врсте горионика. Генерално, ротациона пећ у којој се синтерују сировине при температури од 1450 °C употребом фосилног горива емитује велику количину гаса NOx. Обзиром да алтернативна горива имају претежно нижи садржај азота у поређењу са фосилним горивима, у појединим случајевима могу довести и до смањења емисије NOx.

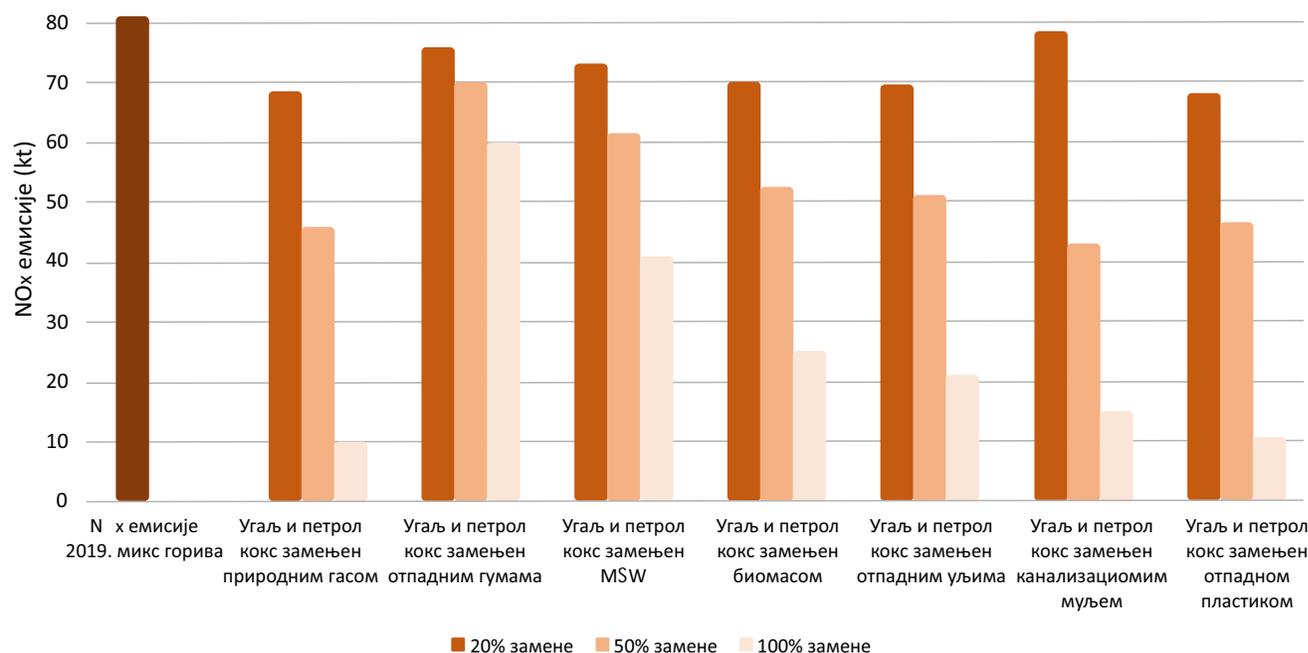
Тако на пример, ко-процесуирање канализационог муља, отпадних уља и растварача представља највећи потенцијал за смањење емисије NOx, око 17% - 87%. Чврсти комунални отпад и отпадна пластика могу потенцијално смањити емисије NOx око 14% - 70%, а отпадне гуме између 10% - 49%. Ко-процесуирање биомасе представља најмањи потенцијал за смањење емисије NOx, тачније између 5% и 27% [8].

Замена фосилних горива алтернативним горивима има ограничен ефекат на емисије **диоксина и фурана (PCDDs/PCDFs)** из цементне пећи. Док при ко-процесуирању канализационог муља емисије диоксина и фурана остају непромењене, употребом свих других алтернативних горива, емисије диоксина и фурана се незнатно смањују [8].

Испарљиви тешки метали који се у процес уводе употребом алтернативних горива се делимично рециклирају унутар пећи.

Ови тешки метали и једињења напуштају систем - пећ заједно са прашином, чија се емисија ефикасно контролише помоћу филтера за отпашивање.

Једино ко-процесуирање отпадних гума, биомасе и отпадних растварача резултира маргиналним смањењем емисије тешких метала из цементне пећи [8].



Слика 9 - Годишње емисије NOx у индустрији цемента након замене 20%, 50% и 100% угља и петрол-кокса алтернативним горивима и природним гасом

4.1.3 Смањење коришћења необновљивих природних ресурса

Главне природне сировине које се користе у производњи клинкера су кречњак и глина. Једним делом њих је могуће заменити минералним компонентама алтернативног горива које се користе.

Фосилна горива, као необновљиви природни ресурс, такође се ко-процесуирањем горива из отпада могу у значајној мери сачувати. Генерално, ко-процесуирањем отпада у цементној индустрији обезбеђује се највећа могућа замена необновљивих природних материјала.

4.1.4 Смањење количина отпада који се одлаже на депоније

Сваке године се стварају стотине милиона тона индустријског и комуналног отпада глобално, док ко-процесуирање нуди јединствено решење да се отпад који не може да се рециклира искористи у енергетске сврхе и спречи његово одлагање на депоније.

Производњом алтернативних горива, из нередицилабилног отпада, и њиховом употребом у фабрикама цемента не само да се смањују количине отпада које се одлажу и повећава оперативност и животни век депонија, већ се индиректно смањују емисије GHG са депоније и генерално, смањује негативан утицај који депоније имају на животну средину и здравље људи. Додатно, смањење количина отпада који се одлаже на депоније у сваком случају доводи до смањења потребе за новим инвестицијама за одлагање отпада, као што су изградња нових санитарних депонија или њихово проширење или изградња инсинератора.

4.2 Циркуларна економија

Искоришћење отпада у цементној индустрији представља добру илустрацију примене модела циркуларне економије, јер се на овај начин [различити токови отпада користе као сировински материјал](#) и енергенти за производњу цемента. Узимајући у обзир да приликом производње цемента не настаје технолошки отпад, као ни пепео, укупан учинак је вишеструко смањење количине отпада који се одлаже на депоније. Додатно, БЕТОН као производ који се примарно производи од цемента и минералних сировинских материјала које су локално доступне, може у потпуности (100%) да се рециклира на крају животног века.

4.3 Економске уштеде (државе, локалних заједница и фабрика цемента)

Заменом фосилних горива у процесу производње цемента остварују се финансијске уштеде које као резултат имају могућност додатног инвестирања, како самих цементара, тако и локалних заједница. Отуда економске користи од употребе отпада за производњу алтернативних горива, могу бити вишеструке:

- **ЗА ДЕПОНИЈЕ:** Смањују се трошкови транспорта, претовара и манипулације отпадом на депонији, трошкови за његово одлагање и оперативни трошкови депоније. Дугорочно гледано, смањују се трошкови потребни за проширење депонијског простора или трошкови за санацију затворених депонија, трошкови за спречавање и лечење од контаминације подземних вода, као и трошкови мониторинга и одржавања затворених депонија;
- **ЗА ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ/ДРЖАВУ:** Смањују се еколошки трошкови повезани са депонијама, као што су трошкови санације земљишта и подземних вода, трошкови мониторинга квалитета ваздуха и воде, управљања депонијским гасом и трошкови јавног здравља повезани са загађењем које је узроковала депонија. Локалне самоуправе и држава од ко-процесуирања имају додатни приход који настаје поновним искоришћењем (рециклажом материјала) у фабрикама цемента, као и потенцијал за повећање радних места, што директно представља подстицај развоја локалне економије.

4.4 Решавање изазова савременог друштва

Цементна индустрија посвећена је задовољавању потреба друштва за довољном количином цемента, истовремено смањујући потражњу за необновљивим фосилним горивима и природним сировинама, што за резултат има смањење GHG емисија.

Ко-процесуирањем отпада обезбеђује се највећа могућа замена необновљивих природних материјала, тачније очување природних ресурса, затим потпуно поновно искоришћење отпада, као и смањење емисија које доводе до ефекта стаклене баште.

Ко-процесуирање отпада у цементним пећима доприноси решавању три кључна питања са којима се суочава савремено друштво:

- Ублажавање климатских промена;
- Унапређење управљања отпадом и
- Подстицање циркуларне економије.

У друштвене доприносе настале као резултат ко-процесуирања могу се уврстити и смањења улагања локалних самоуправа у постројења за инсинерацију и проширење депонијског простора, као и повећање могућности отварања нових радних места.

5. УПОТРЕБА АЛТЕРНАТИВНИХ ГОРИВА У ФАБРИКАМА ЦЕМЕНТА У СРБИЈИ

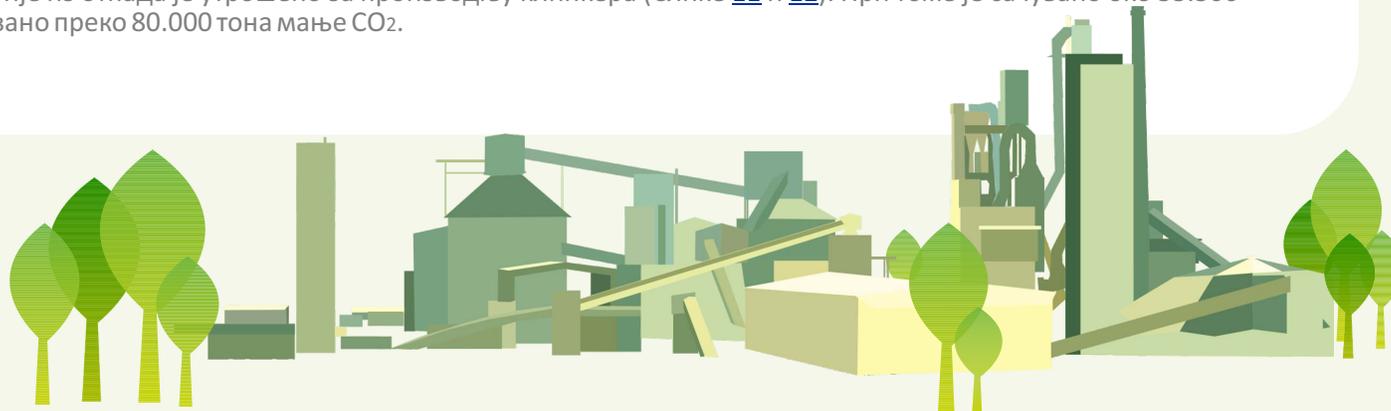
Први почеци употребе алтернативних горива у фабрикама цемента у Србији датирају из 2006. године и били су везани искључиво за отпадне гуме, које су представљале примарно алтернативно гориво све до 2010. и 2011. године.

Након успостављања првог сета еколошких прописа 2009. године, који су обезбеђивали правну основу за развој тржишта отпада у Србији, две фабрике цемента кренуле су са употребом мешаног индустријског отпада и сортираног комуналног отпада.

Данас, готово двадесет година касније, алтернативна горива се и даље користе само у две фабрике цемента, тачније у HOLCIM Србија и фабрици цемента Моравацем. Титан Цементара Косјерић још увек не користи алтернативна горива и поред чињенице да је фабрика у Косјерићу уложила значајна средства и напоре како би обезбедила све техничке претпоставке за безбедно укључивање алтернативних горива у производни процес.

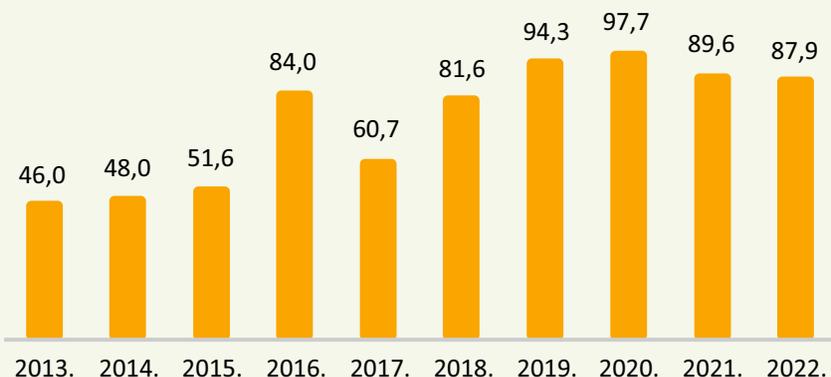
У дозволама за термички третман наше две фабрике цемента налази се листа са више од 140 индексних бројева, неопасног и опасног отпада. Међутим, без обзира на еколошке и енергетске предности ко-инсинерације отпада, напредак на том пољу у Србији је сразмерно спор, углавном због неразвијеног тржишта отпада као и спорости у поступцима усаглашавања националних прописа из области управљања отпадом са европским.

Општа забрана увоза отпада у енергетске сврхе која је уведена 2009. године, била је мотивисана намером да се домаћа индустрија подстакне на употребу отпада генерисаног у Србији и тако помогне у решавању његовог збрињавања. Међутим, индустрија је у протеклом периоду учинила све што је у њеној моћи да искористи расположиве количине отпада у Србији. О томе сведочи и чињеница да је, на пример, употреба отпада у 2013. години у цементним пећима у Србији била занемарљиво мала (46.015 тона третираног отпада или 14,4% топлотне енергије из отпада), док је 2022. године количина третираног отпада износила 87.898 тона, односно 19,2% топлотне енергије из отпада је утрошено за производњу клинкера (Слике [11](#) и [12](#)). При томе је сачувано око 55.500 тона фосилног горива и емитовано преко 80.000 тона мање CO₂.



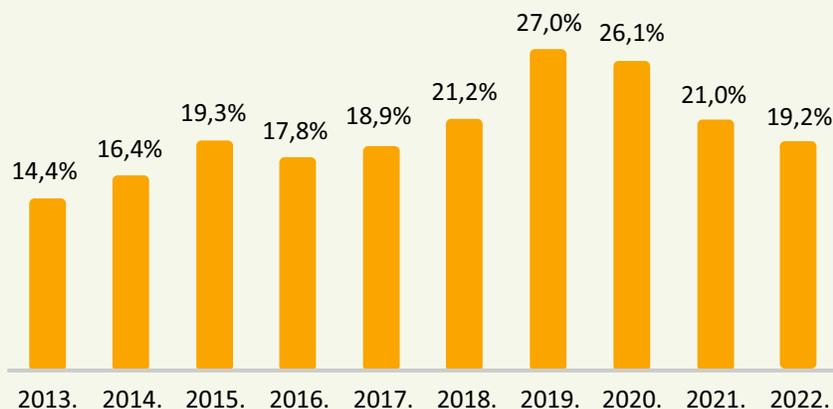
Слика 11 – Количине АГ употребљених у фабрикама цемента у Србији

хиљаде тона АГ употребљених у фабрикама цемента у Србији



Слика 12 – Просек супституције фосилног горива у фабрикама цемента у Србији

% супституције фосилног горива у фабрикама цемента у Србији



И поред тога, **употреба АГ из отпада у цементним пећима у Србији три пута је мања од просека за земље ЕУ: у Србији у просеку она даје 19,2% (2022.), а у ЕУ 58% (2022.) потребне топлотне енергије, иако је цементна индустрија Србије уложила значајна средства и напор да обезбеди све техничке претпоставке за њихово значајније укључивање у производни процес. Досадашња улагања цементне индустрије Србије у потребну опрему и процесе већ сада омогућавају да се Србија у овој области изједначи са најнапреднијим земљама ЕУ.**

Основно ограничење представља недовољна количина отпада подобног за употребу у индустријским пећима. Најједноставније речено, отпад је подобан за употребу уколико његов квалитет задовољава строге регулаторне захтеве и ако је његова употреба трошковно ефикасна. Истовремено, само трошковно ефикасна употреба отпада доноси пуне еколошке користи. Другим речима, то што могу постојати велике количине отпада не значи и да постоје довољне количине отпада подобног за употребу као алтернативно гориво.

Вишегодишње задржавање опште забране увоза отпада за енергетско искоришћење битно је угрозило тржишни положај домаће индустрије у односу на конкуренте из окружења, и истовремено, онемогућило остваривање економских и еколошких користи проистеклих из пуног искоришћења техничких могућности индустрије за употребу отпада у процесу производње.

6. ЗАКЉУЧАК

Цемент је важан грађевински материјал, неопходан за живот, а индустријска грана којој припадамо има кључну улогу, како у економском развоју сваке земље, тако и у давању доприноса за достизање националних циљева смањења емисије CO₂, односно обавезе коју је Србија прихватила потврђивањем Споразума из Париза.

Еколошка, економска и социјална одрживост која се данас захтева од цементне индустрије и представља једини могући правац њеног развоја глобално, подразумева првенствено смањење емисија CO₂, кроз прелазак на обновљиве изворе енергије, повећање енергетске ефикасности и успостављање циркуларне економије, применом решења која нуде више од краткорочних мера.

Ко-процесуирање отпада у цементним пећима представља јединствени пример искоришћења отпада као замене за други материјал из природе, фосилно гориво или минералну сировину, враћајући при томе отпад у животни циклус са смањеним утицајем на загађење животне средине.

Препреку повећању употребе отпада у цементној индустрији (који представља кључни извор алтернативних горива), не представљају технички капацитети цементне индустрије. Напротив, улагања која је ова индустрија спровела у модернизацију и повећање енергетске ефикасности постројења, као и у опрему за употребу алтернативних горива, омогућавају јој да значајно повећа учешће алтернативних горива и материјала у производном процесу.

Већ изграђени капацитети цементној индустрији Србије омогућавају да се по учешћу алтернативних горива у производњи цемента Србија уврсти у ред, у овој области најнапреднијих земаља ЕУ, односно да њихово учешће у просеку буде и више од 60%.



У том смислу, могућност смањења емисија CO₂ у фабрикама цемента у Србији, повећањем степена супституције фосилног горива и природних сировина ко-процесуирањем отпада, превасходно ће зависити од подршке регулатора која укључује:

- Обезбеђивање обавезујуће примене утврђених националних регулаторних ограничења и забрана које се односе на поступке и начине раздвајања различитих врста отпада, начин складиштења, третмана односно поновног искоришћења и одлагања отпада;
- Пружање подршке промоцији термичког третмана отпада и кампањама за подизање свести и обукама које могу позитивно утицати на прихватање термичког третмана и његових еколошких и економских предности и значаја као решења за сигурно и безбедно збрињавање значајних количина отпада који се генерише у Србији;
- Иако значајан део производње цемента није изложен прекограничној конкуренцији, кључно је да механизми за утврђивање пореза за емитовање CO₂ буду повезани са мерама које обезбеђују да локална производња цемента са ниским садржајем угљеника остане конкурентна у односу на увоз цемента са високим садржајем угљеника;
- Повећање и прилагођавање алата и политика зелених јавних набавки у смеру ограничавања коришћења цемента са високим угљеничним отиском или ограничавања просечног угљеничног отиска цемента, будући да за сваки проценат супституције фосилног горива цементна индустрија у Србији уштеди више од 3000 тона CO₂ годишње.



7. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] CEMBUREAU, The role of cement in the 2050 LOW CARBON ECONOMY, Brussels, 2013
- [2] GIZ-LafargeHolcim, Guidelines on Pre- and Co-processing of Waste in Cement Production – Use of waste as alternative fuel and raw material, 2020
- [3] <https://cembureau.eu/media/5ufax2tj/cembureau-what-is-co-processing-may2025.pdf>
- [4] OECD/International Energy Agency and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) – Technology Roadmap, Low-Carbon Transition in the Cement Industry, 2018
- [5] Directive 2010/75/EU on industrial emissions - integrated pollution prevention and control
- [6] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control); EUR 29362 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018; ISBN 978-92-79-94038-5, doi:10.2760/407967, JRC113018
- [7] The European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR)
- [8] Hasanbeigi, A., Bhadbhade, N. Emissions Impacts of Alternative Fuels Combustion in the Cement Industry. Global Efficiency Intelligence. Florida, United States, 2023
- [9] UNEP Basel Convention, Technical guidelines on the environmentally sound co-processing of hazardous wastes in cement kilns, 2011
- [10] Karstesten, K.H., Formation, release and control of dioxins in cement kilns, Chemosphere, 70 (2008) 543–560 (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17698165/>)

[11] Јововић, А., Радић, Д., Станојевић, М., Обрадовић, М., Тодоровић, Д., Радовановић-Јовин, Х., Георгијев, З., Вујић, Б., Шандин, З., Ђурић, Т., Попин, Д.: Елементи животне средине - Ваздух. Животна средина у Аутономној покрајини Војводини: Стање-изазови-перспективе. Покрајински секретаријат за урбанизам, градитељство и заштиту животне средине, Нови Сад, 2011.

[12] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, European Union, 2013; JRC 83006

[13] World Health Organization, Fact Sheets, Dioxins, Prevention and control (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>)

[14] Secretariat of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, UNEP, Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, 2008 (https://chm.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guideline08/UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-08-2.English.PDF)

[15] Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине („Сл. гласник РС“, бр. 135/2004, 25/2015 и 109/2021)

[16] Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС“ бр. 135/2004, 36/2009, 36/2009).

[17] Правилник о методологији за израду националног и локалног регистра извора загађивања, као и методологији за врсте, начине и рокове прикупљања података (“Службени гласник РС”, бр. 91/2010, 10/2013, 98/2016, 72/2023 и 53/2024)

[18] Цементна индустрија Србије, Декарбонизација у цементној индустрији, Део 1: Портланд композитни цементи - пут ка угљеничној неутралности, Преглед решења за смањење угљеничног отиска цемента оптимизацијом садржаја клинкера, Београд, 2024. година (https://cis.org.rs/uploads/files/strane/CIS%20e-brosura%20CO2_FINAL.pdf)

[19] <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/carbon-neutrality/our-2050-roadmap-the-5c-approach-clinker/>



Декарбонизација
у цементној индустрији
КО-ПРОЦЕСУИРАЊЕ

Издавач:

Пословно удружење **Цементна индустрија Србије**

У име издавача:

Дејана Милинковић

Аутори:

Дејана Милинковић, **ЦИС**

Марко Мухадиновић, **HOLCIM Србија**

Душан Павловић, **HOLCIM Србија**

Сретен Обреновић, **Моравацем**

Невенка Николић, **Титан Цементара Косјерић**

Дизајн, уређивање и припрема

Предраг Тодоровић



Краља Милана 4 - 11000 Београд

Тел. +381 11 36 20 090

office@cis.org.rs - www.cis.org.rs