

# Декарбонизација у цементној индустрији

CO<sub>2</sub>



Део 1:

## Портланд композитни цементи - пут ка угљеничној неутралности

*Преглед решења за смањење угљеничног отиска  
цемента оптимизацијом садржаја клинкера*

ПРЕДГОВОР

ПОЗДРАВНА РЕЧ

1. ПРОИЗВОДЊА ЦЕМЕНТА - ИЗВОРИ ЕМИСИЈЕ CO<sub>2</sub>

2. ПРАВЦИ СМАЊЕЊА ЕМИСИЈЕ CO<sub>2</sub> У ЦЕМЕНТНОЈ ИНДУСТРИЈИ

3. СМАЊЕЊЕ УКУПНЕ ЕМИСИЈЕ CO<sub>2</sub> ОПТИМИЗАЦИЈОМ УПОТРЕБЕ КЛИНКЕРА

4. ГЛОБАЛНА И РЕГИОНАЛНА КРЕТАЊА У ПОГЛЕДУ САДРЖАЈА КЛИНКЕРА У ЦЕМЕНТУ

5. ТРЕНД РАЗВОЈА ЦЕМЕНАТА СА СМАЊЕНИМ УДЕЛОМ КЛИНКЕРА У СРБИЈИ

6. ЗАКЉУЧАК

ПРИМЕРИ РАЗВОЈА УПОТРЕБЕ ЦЕМЕНАТА СА НИЖИМ УГЉЕНИЧНИМ ОТИСКОМ У ЗЕМЉАМА ЕУ

ПРИМЕРИ УПОТРЕБЕ ПОРТЛАНД КОМПОЗИТНИХ И МЕТАЛУРШКИХ ЦЕМЕНАТА У СРБИЈИ



## Предговор

Глобално загревање и пратеће климатске промене представљају озбиљан проблем чије занемаривање води ка катастрофалним последицама по човечанство. Упркос настојањима званичника и економских учесника, као и све свеснијој општој јавности, почетак 21. века донео је убрзање раста температуре копна и воде.

Научна истраживања показују да људска активност пресудно доприноси расту емисија гасова са ефектом стаклене баште (угљен-диоксид, метан, азот-диоксид, флуороугљоводоник, перфлуороугљоводоник и хексафлуорид), првенствено због употребе фосилних горива у индустрији, саобраћају и другим антропогеним делатностима. При томе, квантитативно најзначајнији утицај на глобално загревање има емисија угљен диоксида (CO<sub>2</sub>).

У светским размерама цементна индустрија је одговорна за 5 % до 8 % глобалних емисија CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. Изражено по јединици производа, цементна индустрија емитује између 500 и 800 килограма CO<sub>2</sub> по тони производа<sup>2</sup> нето, при чему је светски просек 2021. године износио 585 килограма CO<sub>2</sub> по тони производа нето<sup>3</sup>.

Већина емисија гасова са ефектом стаклене баште (52 %) насталих као резултат производње цемента потичу од хемијских процеса којима се добија клинкер – основни састојак цемента. Преостале емисије потичу од: сагоревања фосилних горива у производњи (34 %), транспорта (3 %) и сагоревања горива за производњу електричне енергије за потребу цементне индустрије (11 %) (Слика 1).

**Озбиљност и ургентност решавања проблема климатских промена и допринос који у његовом решавању може имати цементна индустрија учинили су да се у оквиру цементне индустрије истражују различити начини за смањење емисије CO<sub>2</sub> и њихови очекивани доприноси.**

<sup>1</sup> <https://gccassociation.org/key-facts/>

<sup>2</sup> Према дефиницији GCCA (Global Cement and Concrete Association), „производ“ се односи на “*cementitious product*” који представља укупно произведени клинкер плус минералне компоненте утрошене за мешање и производњу цемента, укључујући продати клинкер и искључујући купљени клинкер.

<sup>3</sup> <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/gnr-gcca-in-numbers/>

Декарбонизација у цементној индустрији је документ чије је издање на српском језику приредило [Пословно удружење Цементна индустрија Србије](#) и који има за циљ да стручну и ширу јавност упозна са обимом емисија CO<sub>2</sub> које настају у производњи цемента, различитим могућностима за њихово смањење и значајем давања приоритета грађевинским производима са ниским угљеничним отиском.

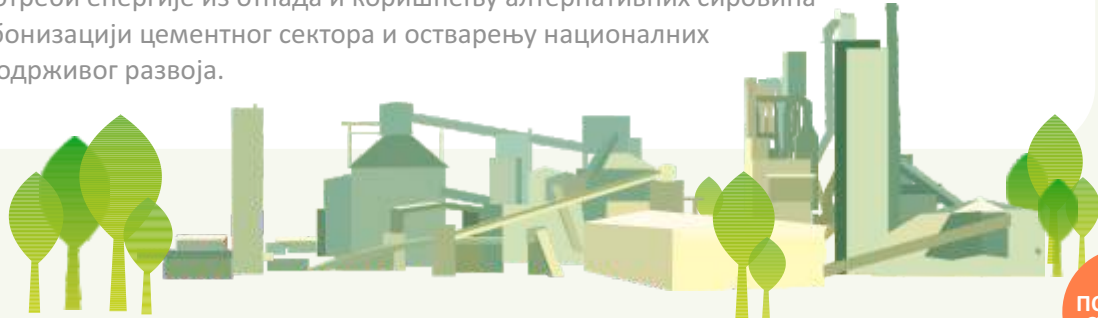
Објективно сагледавање могућности за смањење емисије CO<sub>2</sub> које цементна индустрија у Србији може да оствари од кључног је значаја за утврђивање будућег правца развоја тржишта цемента и бетона. Пласирањем на тржишту нискоугљеничних цементних производа обезбедило би се додатно смањење емисије CO<sub>2</sub>, мањи угљенични отисак зграда и читавог изграђеног окружења, као и додатни подстицај развоју тржишта грађевинских производа са ниским угљеничним отиском.

Стога је у првом делу овог документа названом „Портланд композитни цементни - пут ка угљеничној неутралности“, изложен:

1. [приказ најзначајнијих извора емисије CO<sub>2</sub> у производњи цемента,](#)
2. [најделотворнији расположиви начини смањења ове емисије и](#)
3. [допринос који цементна индустрија може да да смањењу емисије CO<sub>2</sub> у Србији кроз оптимизацију садржаја клинкера у цементу.](#)

Другим речима, са освртом на одговарајућа међународна искуства и правце развоја европске цементне индустрије, приказано је да је оптимизација садржаја клинкера у цементу један од сигурних праваца ка угљеничној неутралности цементног сектора.

Други део овог документа под називом „Ко-процесуирање – одрживо решење за очување природних ресурса“, садржи одговоре о значају ко-процесуирања, односно употреби енергије из отпада и коришћењу алтернативних сировина у процесу производње цемента, на путу ка декарбонизацији цементног сектора и остварењу националних и глобалних циљева заштите животне средине и одрживог развоја.





**Дејана Милинковић**  
директор ЦИС

## Поздравна реч

Преглед решења који је пред вама примењује цементна индустрија широм Европе како би смањила угљенични отисак својих производа. Свако изложено решење појединачно доприноси смањењу емисије CO<sub>2</sub>, али нажалост, само њиховом истовременом применом можемо остварити свој крајњи циљ – декарбонизацију цементне индустрије.

Као актер у друштвеној заједници цементна индустрија има део одговорности да пружи одговор на савремене изазове попут урбанизације, климатских промена и енергетске кризе, да пронађе решења за њих и да истовремено ради све што је у њеној моћи да смањи утицај који врши на животну средину.

Ова публикација се фокусира на разноврсна решења која се примењују у цементној индустрији како би се смањио угљенични отисак производа кроз производњу цемента са ниским садржајем клинкера, испуњавајући при томе захтеве за састав и перформансе утврђене прописима и стандардима.

Сигурни смо да ће решења изнета у овој публикацији представљати основу за наставак дијалога са заинтересованим странама, унутар грађевинског сектора, и изван њега, и да ће понудити додатне могућности на којима можемо заједно да радимо на изградњи друштва са смањеном емисијом угљеника.

**Доступност енергије и сировина и предвидљивост регулативе, представљају неопходан предуслов за очување конкурентности индустрије цемента у Србији и допринос који она даје привредном расту, иновацијама и запослености.**

## 1. Производња цемента - извори емисије CO<sub>2</sub>

Процес производње цемента може се поделити на два основна корака:

- Производња клинкера
- Млевење цемента.

### 1.1 Производња клинкера

#### Експлоатација сировина из каменолома

Фабрике цемента се обично налазе у близини природних налазишта материјала као што су кречњак и лапорац, који се експлоатишу из каменолома, како би обезбедиле калцијум карбонат (CaCO<sub>3</sub>). Веома мале количине материјала као што су пиритна изгоретина, боксит, шкриљац, глина или песак могу бити додате како би се обезбедили минерални састојци, гвожђе оксид (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), алуминијум оксид (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и силицијум диоксид (SiO<sub>2</sub>) који су неопходни за производњу клинкера дефинисаног састава.

Сировина се експлоатише у каменоломима и транспортује до примарних/секундарних дробилица, где се дробе у комаде величине од ~10 до 30 mm. После дробљења, сировине се мешају и заједно мељу како би се добило „сировинско брашно“. Како би се обезбедио висок квалитет цемента, хемијски састав сировина, као и сировинског брашна, пажљиво се прати и контролише.

#### Предгревање сировинског брашна

Врели гасови из пећи врше загревање сировинског брашна пре уласка у пећ у предгрејачу. Предгрејач се састоји од низа циклона кроз које „пада“ сировинско брашно док се струја топлих гасова из пећи, креће у супротном смеру од кретања материјала. У овим циклонима, термална енергија (топлота) врелих гасова се искоришћава за предгревање сировинског брашна, чиме се даље унапређује ефикасност овог процеса и смањује потрошња горива. У зависности од технолошког решења предгрејач може да има и до шест нивоа циклона, код којих се са сваким додатним нивоом (циклоном) увећава проценат искоришћења топлоте, односно термална ефикасност целокупног процеса.



#### Предкалцинација

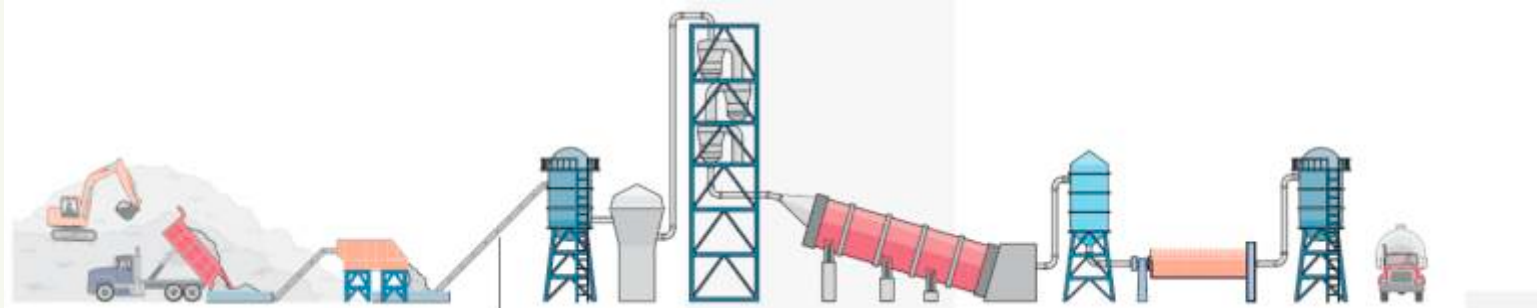
Калцинација (жарење) је процес термичког разлагања кречњака (калцијум карбонат) у креч (калцијум оксид) уз ослобађање угљен диоксида. Савремене пећи, садрже предкалцинатор који се налази на дну предгрејача, изнад пећи, у који се доводи део горива чијим сагоревањем се достижу температуре потребне за комплетирање процеса калцинације сировинског брашна. **Емисија CO<sub>2</sub> која потиче од декарбонизације сировинског брашна, представља 52 % од укупне емисије CO<sub>2</sub> ослобођене током процеса производње цемента.** Преостале емисије потичу од: сагоревања фосилних горива у производњи (34 %), транспорта (3 %) и сагоревања горива за производњу електричне енергије коју користи цементна индустрија (11 %) (Слика 1).

#### Производња клинкера у ротационој пећи

Предкалцинисана маса улази у пећ при температурама од око 1.000 °C. Гориво (попут угља, петрол кокса, гаса, нафте и алтернативних горива) сагорева директно у ротационој пећи обезбеђујући температуру гасова и до 2.000 °C како би сировине достигле температуру до 1.450 °C. Пећ (опеком обложена метална цев пречника 3 до 5 m и 30 до 120 m дуга) ротира брзином од 3 до 5 o/min, а сировинско брашно се креће кроз све топлије зоне ка пламену. Овако интензивна топлота узрокује хемијске и физичке реакције захваљујући којима се предкалцинисана маса делимично топи обезбеђујући услове за комплетирање реакција настајања минерала клинкера (процес клинкеризације).

#### Сировине, енергија и ресурси

#### Производња клинкера и цемента



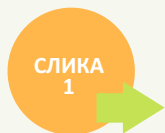
	Каменолом	Дробилица	Транспорт <sup>1)</sup>	Млин сировине	Пећ и предгрејач са калцинатором <sup>2)</sup>	Хладњак <sup>3)</sup>	Млин цемента	Логистика <sup>4)</sup>	Укупно	
CO <sub>2</sub> %	0,3	0,1	0,8	1,8	51,8	34,5	3,0	5,3	2,4	100

<sup>1)</sup> Претпостављено са 1kWh/t/100m

<sup>2)</sup> Претпостављени глобални просек, подаци Глобалног удружења за цемент и бетон, *Getting Numbers Right* 2017

<sup>3)</sup> Претпостављени решеткасти хладњак са 5kWh/t клинкера

<sup>4)</sup> Претпостављени камионски превоз у просеку 200 km



СЛИКА 1

Извори емисија CO<sub>2</sub> у процесу производње цемента

#### Хлађење и складиштење

Врели клинкер који излази из ротационе пећи хлади се великим количинама ваздуха. Брзина хлађења, која се одиграва у хладњаку, је од пресудног значаја за очување минерала клинкера од којих зависе својства цемента. Ваздух, загрејан током процеса хлађења клинкера, се уводи у пећ, потпомажући процесе сагоревања горива у пећи, чиме се укупни губитак енергије из система своди на минимум.

#### 1.2 Млевење цемента

Клинкеру се додаје око 4 до 5 % гипса како би се контролисало време везивања цемента. Смеша охлађеног клинкера и гипса меље се у сиви прах који се назива портланд цемент (PC), или може да се меље са додатком других минералних састојака како би се, на пример, произвели портланд-композитни цементи.

#### Складиштење цемента

Финални производ се хомогенизује и складишти у силосима за цемент и потом транспортује у постројење за паковање (у случају испоруке цемента у џаковима), или у цистерне за транспорт друмским, железничким или воденим саобраћајем.

Као резултат комбинације емисија из производног процеса (које настају при трансформацији кречњака током производног процеса) и емисија које настају при стварању топлотне енергије неопходне за процес производње клинкера, интензитет емисија CO<sub>2</sub> у Европи се креће око 600 kgCO<sub>2</sub>/t производа<sup>2</sup>. Главни фактори који утичу на просечну емисију CO<sub>2</sub> су технологија која се користи за производњу клинкера (мокри, полусуви или суви процес производње, са предкалцинатором или предгрејачем), природа сировинског материјала, однос клинкера и цемента и врсте горива која се користе за термичке процесе добијања клинкера.





## 2. Правци смањења CO<sub>2</sub> у цементној индустрији

Како би се остварило смањење емисија CO<sub>2</sub>, неопходно је заједничко деловање у више паралелних праваца. Међутим, не постоји једноставно решење нити једна иновативна технологија чијом би се применом преко ноћи могле смањити емисије у нашем сектору. Треба утврдити праву комбинацију технологија, инвестиција и процеса којом ће се ова разлика, односно смањење заиста остварити. У ту сврху, мора се имати на уму и оно што је довело до позитивних резултата у прошлости, као и где се овај сектор данас налази.

Цементна индустрија активно и дуго ради на смањењу емисија CO<sub>2</sub>. Европско удружење произвођача цемента (у даљем тексту: **CEMBUREAU**) је 2013. године израдило Мапу пута, постављајући циљ смањења CO<sub>2</sub> из процеса производње цемента и до 80 % до 2050. године, у односу на емисије CO<sub>2</sub> из 1990. године.

Мапа пута је 2018. године допуњена „5C приступом“ (*clinker – cement – concrete – construction – (re)carbonation*) који промовише системску сарадњу дуж ланца вредности: клинкер-цемент-бетон-конструкција-(ре)карбонизација, који укључује све актере како би се визија ниске емисије угљеника претворила у стварност.

Објављивањем Европског зеленог договора<sup>5</sup> и његовог постављеног циља угљеничне неутралности до 2050. године, чланице CEMBUREAU увеле су нови, средњерочни циљ, за постизање 30 % бруто смањења емисија CO<sub>2</sub> за цемент до 2030. године и 40 % бруто смањења у целокупном ланцу вредности, у поређењу са емисијом CO<sub>2</sub> из 1990. године<sup>4</sup>.

Истраживања, пракса и искуство произвођача цемента сведоче да је заједничким спровођењем активности, груписаних у пет основних праваца<sup>6</sup>, могуће остварити утврђене циљеве смањења емисије CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> CEMBUREAU, Cementing the European Green Deal, REACHING CLIMATE NEUTRALITY ALONG THE CEMENT AND CONCRETE VALUE CHAIN BY 2050

<sup>5</sup> <https://www.pregovarackagrupa27.gov.rs/wp-content/uploads/2021/06/Evropski-zeleni-dogovor-finalni-SRP.pdf>

<sup>6</sup> CEMBUREAU, <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/5-parallel-routes/>



## 5 паралелних праваца за смањење емисија CO<sub>2</sub> у производњи цемента и бетона

**Ефикасна употреба ресурса** која се темељи на коришћењу алтернативних горива и сировинских материјала, као и оптимизацији учешћа клинкера у цементу у зависности од његове намене.



Ефикасно коришћење енергије, односно **енергетска ефикасност** која се заснива на смањењу потребне енергије по јединици производа, односно специфичне потрошње топлотне енергије, а тиме и смањењу емисија CO<sub>2</sub>.



**Хватање и складиштење угљеника**, односно примена еколошки безбедне технологије за хватање и складиштење угљеника, подразумева хватање угљен-диоксида који се испушта из процеса производње цемента и његово складиштење у подземне геолошке формације где не доприноси глобалном загревању.



**Ефикасност производа**, односно унапређење перформанси бетона подразумева:

- знање и искуство у пројектовању бетонске мешавине;
- улагање у развој нових технологија и брже испитивање трајности нових мешавина бетона и укључивање критеријума којим се мери количина емитованих угљеникових једињења током целокупног животног циклуса производа у поступку јавних и приватних набавки.



Унапређење употребе бетона кроз **пројектовање бетонских конструкција**, подразумева укључивање критеријума заштите животне средине као саставни део грађевинских пројеката, као и обавезујуће поновно искоришћење бетонских елемената по завршетку животног циклуса грађевине.



Прва три праваца се непосредно односе на производњу цемента, док су активности у четвртном и петом повезане са најважнијим производом који се израђује од цемента – бетоном и грађевинским сектором у целини.

Да би се постигао циљ смањења емисије CO<sub>2</sub>, активности само у оквиру једног од ових праваца нису довољне, будући да су оне у великој мери комплементарне. Другим речима, **не постоји једноставно решење нити било која појединачна технологија чијом би се применом преко ноћи могле смањити емисије у производњи цемента**. Начин остваривања смањења емисија CO<sub>2</sub> кроз сваки од наведених праваца има своје специфичности.

#### Ефикасна употреба ресурса

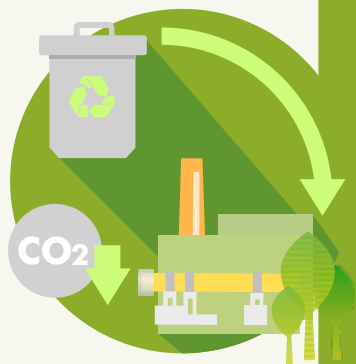
**Употреба алтернативних сировина** у процесу производње цемента има бројне предности. Одабрани отпадни материјали и нуспроизводи других индустрија, који садрже корисне елементе као што су калцијум, силицијум-диоксид, алуминијум-оксид и гвожђе, представљају замену за природне сировине као што су лапорац и кречњак. На тај начин смањује се потреба за експлоатацијом из каменолома и, уколико су алтернативни материјали већ декарбонизовани, смањују се емисије CO<sub>2</sub>.

**Коришћење алтернативних горива** у цементним пећима доприноси смањењу емисије угљен-диоксида на два начина. Прво, смањује се употреба фосилних горива, а тиме и емисије CO<sub>2</sub> која настаје њиховим сагоревањем. Друго, избегавају се емисије гасова са ефектом стаклене баште које настају када се отпадни материјали (који се могу искористити као замена за фосилна горива) одлажу на депоније или спаљују у неконтролисаним условима. Посебан допринос се може огледати у земљама као што је Србија, где се знатна количина отпадним материјала одлаже на неодговарајуће депоније и тиме значајно доприноси нарушавању квалитета свих елемената животне средине.

**Оптимизација учешћа клинкера у цементу**, односно смањење удела клинкера у цементу, додатком других материјала, непосредно води мањим емисијама CO<sub>2</sub> и употреби мање количине енергената, будући да највећи удео емисија CO<sub>2</sub> и највећа потрошња енергије настаје у процесу производње клинкера.

Клинкер се може мешати са великим бројем главних додатних састојака, стандардизованог порекла и састава, као што су пуцолански материјали (од којих је најзначајнији летећи пепео), гранулисана згура високе пећи, затим сагорели шкриљци и силикатна прашина и други правилно одабрани и припремљени материјали без негативног утицаја на својства цемента и бетона.

Имајући у виду да учешће клинкера у цементу у великој мери утиче на својства цемента, због чега се националним прописима и стандардима утврђује врста и удео главних и споредних састојака цемента, оптимизација учешћа клинкера у цементу ограничена је захтеваним својствима сваке врсте цемента и структуром потражње.



#### Ефикасно коришћење енергије

Повећање енергетске ефикасности по правилу захтева унапређење или замену постојећих постројења. Укупна ефикасност процеса производње клинкера у непосредној је зависности од специфичне потрошње топлотне и, у мањој мери, електричне енергије. Смањење нивоа специфичне потрошње топлотне енергије у фабрикама цемента може се остварити оптимизацијом измењивача топлоте ротационих пећи, заменом старих горионика новим, максималним искоришћењем отпадне топлоте и др. У основи ова улагања воде смањењу потребне енергије по јединици производа, односно специфичне потрошње топлотне енергије, а тиме и смањењу емисија CO<sub>2</sub> по јединици финалног производа, односно цемента.



#### Хватање и складиштење угљеника

Једно од могућих иновативних, дугорочних решења за смањење емисија CO<sub>2</sub> у атмосферу је хватање и складиштење угљеника. У току је реализација неколико истраживачких пројеката којима се испитује одрживост коришћења технологије за хватање угљеника у цементној индустрији, као што су: (1) Технологије за хватање CO<sub>2</sub> после сагоревања (*Post-combustion capture technologies*) и (2) Сагоревање у струји кисеоника (*Oxyfuel combustion*). Међутим, није још увек јасно да ли постоје расположиви капацитети за даље коришћење ових количина CO<sub>2</sub>, након спроведеног поступка хватања и складиштења и стварање његове додатне вредности.

Иако је поступак хватања угљеника у цементној индустрији још у фази истраживања и развоја, већ је видљив потенцијал за даље унапређење и коришћење ове технологије. Међутим, да би се са фазе истраживања прешло у фазу примене у краткорочном и средњорочном оквиру, неопходна је подршка кроз политике различитих нивоа власти, од европских, националних регионалних, па до локалних.

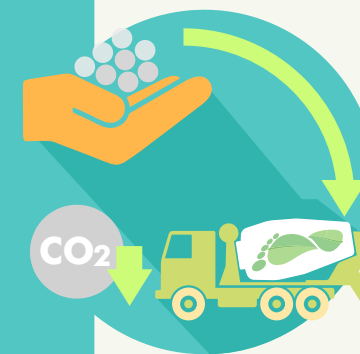


## Ефикасност производа

Бетон је основни производ цемента, који се производи мешањем цемента са водом и агрегатом уз додатак малих количина хемијских додатака који се користе за побољшање перформанси бетона и испуњење специфичних захтева његове намераване употребе, при чему цемент заузима око 10-15 % ове мешавине.

С обзиром на то да се већина произведеног цемента користи као везиво у бетону, постоје различите могућности за унапређење перформанси бетона, односно унапређење ефикасности коначног производа.

Смањење количине емитованих угљеникових једињења која потичу из производње цемента обухваћено је кроз прва три правца која су овде представљена, међутим за даље смањење угљеничног отиска, важно је размотрити целокупан животни циклус зграда, укључујући и начин, количину и врсту цемента која се користи за производњу бетона.



## Пројектовање бетонских конструкција

Унапређење употребе бетона кроз пројектовање бетонских конструкција, захтева да критеријуми заштите животне средине буду саставни део пројектовања објеката, као и да се по завршетку животног циклуса објекта, бетонски елементи поново искоришћавају. На овај начин се дробљени бетон може користити као агрегат за производњу бетона, као подлога или за насипање за различите намене. Такође, очврсла фракција цемента у бетону може се рециклирати у сировину за производњу цемента.

За процену одговарајуће комбинације технологија, инвестиција и процеса која би водила остваривању циљева одрживог развоја, а тиме и смањењу емисије CO<sub>2</sub> у производњи цемента, нужно је, поред осталог, узети у обзир и степен укупне економске развијености једне државе, степен развијености грађевинског сектора, као и успостављени правни оквир.

### 3. Смањење укупне емисије CO<sub>2</sub> оптимизацијом употребе клинкера

Емисије CO<sub>2</sub> директно су пропорционалне количини клинкера употребљеног у производњи цемента.

Садржај клинкера у цементу (познат је и као: **клинкер фактор** или **однос клинкера и цемента**) може да варира у зависности од **типа произведеног цемента**. Портланд-цементи са нижим клинкер фактором захтевају мање клинкера што имплицира мање емисије CO<sub>2</sub>, обзиром да је угљенични отисак неких додатака цементу веома низак или чак једнак нули.

**Различити типови цемената** имају различита својства, укључујући време везивања, почетну и стандардну чврстоћу, отпорност на дејство соли и хемијски агресивне средине, количину топлоте која се ослобађа током неговања, боју, вискозитет и обрадивост. Значај и сврсисходност битних карактеристика зависи од **жељене примене цемента и бетона**.

Из тих разлога потребно је обезбедити да битне карактеристике цемента, које могу да имају утицај на перформансе објекта током његовог уобичајеног одржавања и економски прихватљивог века употребе (од најмање 50 или више година) задовоље основне захтеве за механичку отпорност, стабилност и трајност објеката.



#### Шта је заправо угљенични отисак производа?

Овај резултат је мера укупне количине емисија гасова са ефектом стаклене баште који се ослобађају током целокупног животног циклуса производа.

Угљенични отисак је количина емитованих гасова стаклене баште изражена у CO<sub>2</sub> еквивалентима. Ове информације о производу се користе за одабир производа чија производња нуди најмањи могући утицај на животну средину, узевши у обзир свеукупну емисију CO<sub>2</sub>.

Врста цемента	Назив цемента	Ознака типа <sup>1)</sup> ( <sup>2)</sup> )	Садржај клинкера, %
CEM I	портланд цемент	PC	≥ 95
CEM II	портланд-композитни цемент	PC 20 (CEM II/A)	80 - 94
		PC 35 (CEM II/B)	65 - 79
CEM III	металуршки цемент	M 35K (CEM III/A)	35 - 64
		M 20K (CEM III/B)	20 - 34
		M 5K (CEM III/C)	5 - 19
CEM IV	пуцолански цемент	P 35 (CEM IV/A)	65 - 89
		P 55 (CEM IV/B)	45 - 64
CEM V	композитни цемент	MP 30 (CEM V/A)	40 - 64
		MP 50 (CEM V/B)	20 - 38

<sup>1)</sup> Ознака типа цемента према Правилнику о квалитету цемента („Сл. гласник РС“ бр. 34/2013 и 44/2014)

<sup>2)</sup> Ознака типа цемента према стандарду EN 197-1: Цемент – Део 1: Састав, спецификације и критеријуми усаглашености за обичне цементе

#### Захтеви техничких прописа и стандарда

Правилник о квалитету цемента („Сл. гласник РС“, бр. 34/2013 и 44/2014), којим су транспоновани технички захтеви за обичне цементе, дефинисани европским стандардом SRPS EN 197-1: Цемент – Део 1: Састав, спецификације и критеријуми усаглашености за обичне цементе, дефинише 27 типова обичних цемената. Поред захтева за механичка, физичка и хемијска својства цемента, Правилником су, према **главним додатним састојцима**, утврђене и граничне вредности садржаја клинкера за 5 врста цемената како је приказано у Табели 1.

Теоретски, садржај клинкера у цементима може да варира од 5 % до 95 %. Различити садржаји клинкера имају утицај на врсту примене за коју се дати цемент може користити.

ТАБЕЛА  
1

Граничне вредности садржаја клинкера по типовима цемента

	Главни додатни састојци цемента
<b>КРЕЧЊАК</b>	Кречњак који се може додати клинкеру без загревања и трансформисања у креч.
<b>ГРАНУЛИСАНА ЗГУРА ВИСОКЕ ПЕЋИ</b>	Гранулисана згура високе пећи (GBS), нуспроизвод из процеса производње сировог гвожђа или челика.
<b>ЛЕТЕЋИ ПЕПЕО</b>	Летећи пепео, честице, налик честицама прашине, из димних гасова термоелектрана са погоном на угљ.
<b>ПРИРОДНИ ПУЦОЛАНИ</b>	Природни пуцолани, као што су глине, шкриљац и одређене врсте седиментних стена.
<b>СИЛИКАТНА ЧАЂ</b>	Силикатна прашина, пуцолански материјал и нуспроизвод из производње силицијумових или феро-силицијумових легура.
<b>САГОРЕЛИ ШКРИЉАЦ</b>	Сагорели шкриљац, посебно сагорели уљни шкриљац, добија се у специјалној пећи на температурама од приближно 800° C

Технички комитет за цемент и креч при [Европском комитету за стандардизацију](#), (CEN/TC 51) је почетком 2000-тих почео да истражује могућност стандардизације нових цемената произведених коришћењем традиционалних састојака и производних метода, чији су састави излазили из оквира граница утврђених стандардом EN 197-1.

Нови цементи са смањеним садржајем портланд-цементног клинкера и додатком других главних састојака, попут кречњака, гранулисане згуре високе пећи, летећег пепела, природних пуцолана и силикатне прашине, стандардизовани су 2021. године објављивањем документа EN 197-5, Цемент – Део 5: Портланд-композитни цемент CEM II/C-M и композитни цемент CEM VI.

Исте године у Србији је започет поступак израде и доношења Српског документа за оцењивање портланд-композитних цемената са смањеним садржајем клинкера, који је стављен на списак донетих српских докумената за оцењивање под ознаком СДО 15 001:2021 и објављен у Правилнику са списком српских стандарда којима су преузети хармонизовани стандарди који се примењују у складу са законом којим се уређују грађевински производи и списком донетих српских докумената за оцењивање („Сл. гласник РС“, бр. 120/21).

Технички прописи и стандарди могу у великој мери да помогну да се олакша стављање на тржиште нискоугљеничних цемената, чиме би се смањило интензитет гасова са ефектом стаклене баште у овој индустрији.

Њихов основни циљ је да:

- дефинишу спецификације за алтернативне саставе цемента и бетона;
- успоставе захтеве за хемијске, физичке и механичке карактеристике новоразвијених цемената и бетона
- хармонизују производе и методе испитивања.



Портланд-композитни цементи са смањеним садржајем клинкера састоје се од портланд цементног клинкера чији се удео креће од 50 % до 64 % и једног или више додатих главних састојака, који су усаглашени са захтевима стандарда SRPS EN 197-1:2013, у укупном збиру од 36 % до 50 %. Додатно, велики изазов за европску индустрију цемента, када су у питању могућности за смањење емисија CO<sub>2</sub> оптимизацијом удела клинкера у цементу, представља поновно искоришћење отпада од грађења и рушења.

Отпад од грађења и рушења дефинисан је као отпад који настаје у току обављања грађевинских радова на градилиштима или припремних радова који претходе грађењу објеката, као и отпад настао услед рушења или реконструкције објеката.

Процесима хидратације цемента у бетону, процес декарбонизације је потпуно или делимично већ завршен, тачније угљенични отисак отпада од грађења и рушења је веома мали или једнак нули. Стога је од велике важности, постојање могућности додавања отпада од грађења и рушења цементу, као главног или споредног додатног састојка.

Из тих разлога Европски комитет за стандардизацију покренуо је израду стандарда EN 197-6, Цемент - Део 6: Цемент са рециклираним грађевинским материјалима, који специфицира захтеве за **цементе са рециклираним грађевинским материјалима**, тачније **самлевеним рециклираним бетоном**, посебно одабраним и припремљеним минералним материјалима који потичу из постројења која производе рециклирани агрегат за бетон. Стандард EN 197-6 усвојен је и објављен 2023. године.

Поред новог типа цемента који ће поред клинкера, као главни додатни састојак моћи да садржи 6 % – 20 % самлевоног рециклираног бетона, овим стандардом планирана је и могућност додавања исте количине самлевоног рециклираног бетона (6 % – 20 %) и цементима обухваћеним стандардима EN 197-1 и EN 197-5.

#### Самлевени рециклирани бетон

Посебно одабран и припремљен минерални материјал који долази из постројења која производе агрегате и/или песак од рециклираног бетона, који је усаглашен са EN 12620 и испуњава следеће захтеве за састојке:

R <sub>CU90</sub>	Бетон, бетонски производи, малтер, Елементи за зидање од бетона, Агрегати за невезане материјале, природни камен Агрегати за хидраулички везане материјале	≥ 90%
R <sub>b</sub>	Елементи за зидање од глине (нпр. цигле и плочице), Елементи за зидање од калцијум-силиката, Елементи за зидање од аерираног бетона	≤ 10%
R <sub>a</sub>	Битуминозни материјал	≤ 1%
FL	Плутајући материјал по запремини	≤ 2%
X + R <sub>g</sub>	Остало: Обрадива (нпр. глина и земљиште) Разни: метали (црни и обојени) Неплутајуће дрво, пластика и гума Гипсани малтер; стакло	≤ 1%

Извор: CEN/TC 51 N 1500, Dossier to support an application to permit the use of Recycled Concrete Fines (RCF) as main constituent of cements, March-2021



# Декарбонизација у цементној индустрији

CO<sub>2</sub>

Додатно, увелико су у току међународни и национални пројекти којима се поред самлевоног рециклираног бетона, истражују могућности за употребу других материјала као главних или споредних додатака цементу, као што су: активирана глина и SiO<sub>2</sub>, отпадни пуцолански материјали и отпадна згура из других индустрија.

Нови типови цемента са смањеним садржајем клинкера могу да дају значајан допринос смањењу емисијама CO<sub>2</sub>. Разлике у оптерећењу животне средине емисијама CO<sub>2</sub> које потичу из цемента са различитим уделом клинкера, приказане су на слици 2.

СЛИКА  
2

Оптерећење животне средине емисијама CO<sub>2</sub> које потичу из цемента произведеног са различитим уделом клинкера у Србији

Портланд цемента произведени у Србији, са додацима до 20 % (CEM II/A) и до 35 % (CEM II/B) смањују оптерећење животне средине емисијама CO<sub>2</sub> за више од 10 %, односно 20 % у односу на портланд цемента без додатака (CEM I), док нови типови нискоугљеничних цемента (CEM II/C) то оптерећење смањују готово за 50 %. Ове чињенице у многоме ће утицати на будући развој производних асортимана у фабрикама цемента у Србији.

CO<sub>2</sub>

100%

90%

80%

70%

60%

50%

40%

30%

20%

10%

CEM I 74%-80%

CEM II/A 58%-69%

CEM II/B 47%-59%

CEM II/C 36%-49%

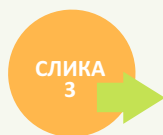
CEM IV <33%

#### 4. Глобална и регионална кретања у погледу садржаја клинкера у цементу

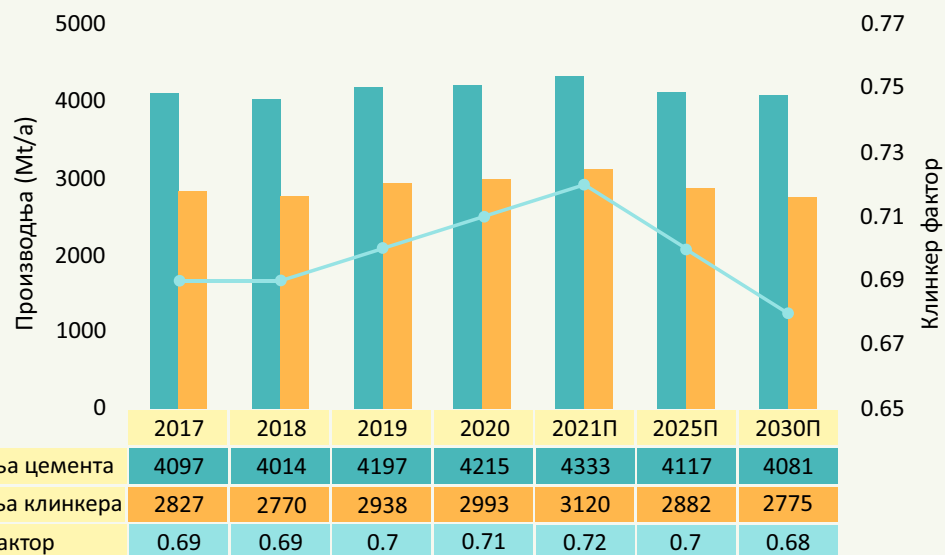
Глобални развој производње клинкера и цемента у последњих неколико година, а након достигнутог успеха у 2021. години, могао би да стагнира, углавном због пада кинеске потражње за цементом који се очекује у наредним годинама. На слици 3, приказан је и тренд односа клинкер/цемент, који након свог врхунца оствареног у 2021. години, због текућих напора на декарбонизацији цементне индустрије и све веће употребе замена клинкера, такође стреми смањењу. Сходно томе, сигурно је да ће производња клинкера опадати брже од производње цемента, што не утиче само на укупну емисију CO<sub>2</sub> у индустрији цемента, већ и на потражњу за сировинама за производњу клинкера и цемента.

Коначно, са **пројектованим клинкер фактором** од 0,68 на глобалном нивоу до 2030. године (видети Сliku 3), биће потребно 1306 Mt/год додатака цементу, што је количина већа него икада раније. Тако да поред претходно поменутих регулаторних ограничења, оптимизација садржаја клинкера у цементу у многоме ће зависити и од расположивости додатака одговарајућег састава на локалном тржишту, а такође и од захтева тржишта за појединим врстама цемента<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> <https://www.zkg.de/en/artikel/availability-of-cement-raw-materials-3882553.html>



Перспективе глобалне производње клинкера и цемента<sup>7</sup>



Док доступност материјала може бити ограничење за смањење односа клинкер/цемент, из *GCCA* поручују да је прихватање цемената са смањеним садржајем клинкера од стране корисника, у неким развијеним и економијама у развоју, додатна препрека за потпуно искоришћавање ове полуге. Додатно, *GCCA* извештава да су регионалне, па чак и варијације унутар земаља неизбежне, због различите доступности материјала и захтева тржишта<sup>8</sup>.

CEMBUREAU такође упозорава да ће на даљу декарбонизацију европске цементне индустрије у значајној мери утицати доступност алтернативних материјала, као што су летећи пепео и гранулисана згура високе пећи. Поред тога, ограничена доступност активираних (калцинираних) глине у Европи поставља додатно ограничење за даље смањење садржаја клинкера у цементу<sup>9</sup>, у поређењу са другим деловима света који се још увек нису обавезали на доследан пут ка декарбонизацији.

CEMBUREAU процењује да постоји могућност да се на европском нивоу однос клинкера према цементу смањи на 74 % до 2030. године, односно на 65 % до 2050. године<sup>3</sup>, што би довело до додатног смањења емисија CO<sub>2</sub> од најмање 4 %<sup>10</sup>.



<sup>8</sup> GCCA, Concrete Future – Roadmap to Net Zero, 2021.

<sup>9</sup> CEMBUREAU, Building carbon neutrality, Engaging for concrete solutions,

<sup>10</sup> CEMBUREAU, The role of CEMENT in the 2050 LOW CARBON ECONOMY, 2013.

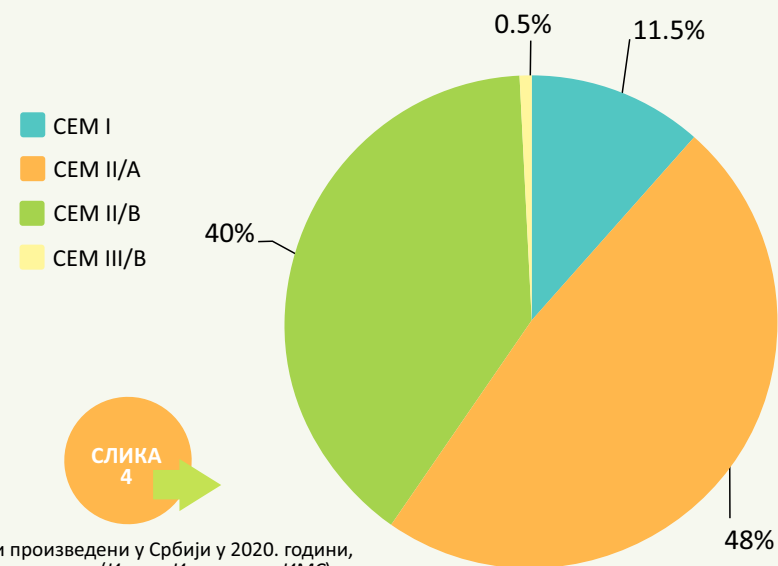
## 5. Тренд развоја цемента са смањеним уделом клинкера у Србији

У фабрикама цемента у Србији производи се портланд цемент са различитим учешћем клинкера и додатака. Доминантни удео у производњи цемента (48 %) у 2020. години, имали су цементи са до 20 % додатака, односно цементи типа СЕМ II/A (Слика 4).

Портланд-композитни цементи СЕМ II/B (са учешћем додатака до 35 %) имали су удео од 40 % у укупној производњи домаћих фабрика, док су цементи без додатака (СЕМ I цементи) имали удео од само 11,5 % (Слика 4).

Металуршки цементи, односно СЕМ III/B цементи (са учешћем додатака до 80 %) учествовали су само 0,5 % у укупној производњи домаћих фабрика цемента. (Слика 4).

## Удео цемента - 2020. година

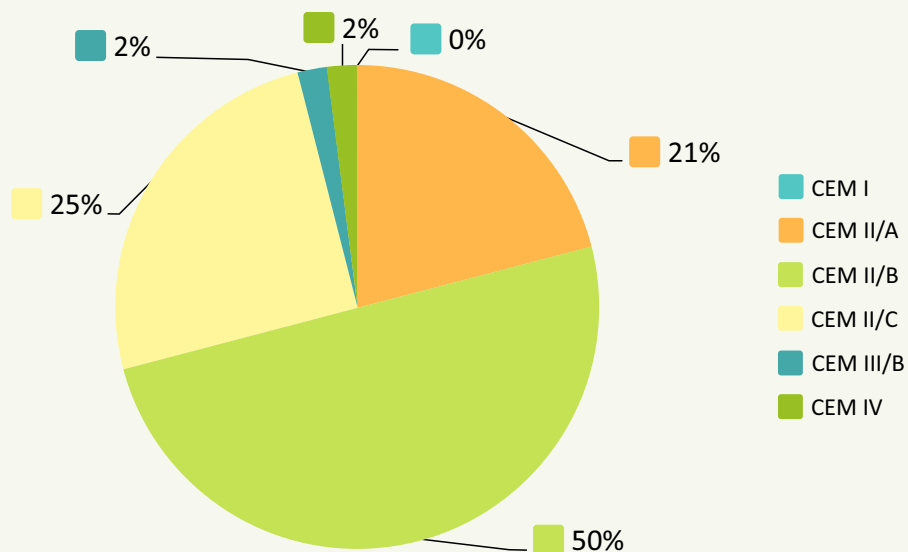


СЛИКА 4

Цементи произведени у Србији у 2020. години, удео по врстама (Извор: Институт ИМС)

Да би се остварио циљ у погледу просечног клинкер фактора, до 2030. године потребно је значајно изменити уделе цемента у производним асортиманима домаћих фабрика цемента. Водећи рачуна о захтевима тржишта у погледу перформанси производа, потребно је повећати удео производа са већим % додатака, а мањим уделом клинкера. Као један од корака на том путу, током 2022. године, домаћи произвођачи су покренули производњу нискоугљеничних типова цемента (PC 50M, који је еквивалентан са СЕМ II/C). Удео ових цемента у првој години производње био је око 14 %, што је значајан помак у оптимизацији клинкер фактора у цементу, а самим тиме и допринос смањењу емисије CO<sub>2</sub>.

## Удео цемената - 2030. година



СЛИКА 5

Планирана производња цемената у Србији у 2030. години, удео по врстама (Извор: ЦИС)

Даље повећање удела цемента са ниским клинкер фактором није под непосредним утицајем цементне индустрије Србије већ је у великој мери одређено: доступношћу алтернативних материјала, структуром тражње за различитим типовима цемената, односно структуром грађевинских радова који су најчешће условљени капиталним инвестицијама, као и подршком регулаторних органа.

Додатно смањење емисија CO<sub>2</sub> захтева, између осталог, знатно повећање удела цемента са смањеним уделом клинкера („зелених производа“) у производним асортиманима фабрика цемента у Србији. То краткорочно захтева ограничавање, или пак **потпуни престанак производње цемента са високим угљеничним отиском**, попут портланд цемента CEM I (PC), у нашим фабрикама.

Како бисмо убрзали смањење емисија CO<sub>2</sub> током ове критичне деценије, планирано је повећање употребе летећег пепела и гранулисане згуре високе пећи, који ће као главни додатни састојци и даље играти важну улогу у овој деценији. Додатно, планиран је развој нових-еколошких типова цемената са смањеним уделом клинкера и главним додатим састојцима који имају низак или су у потпуности без угљеничног отиска, попут рециклираног бетона и **остатака од грађења и рушења објеката** (Слика 5).

Попут индустрије развијених земаља, **планови цементне индустрије Србије су да се до 2030. године просечни клинкер фактор смањи на 0,62 – 0,65, а до 2050. године достигне вредност нижу од 0,58.**

## 6. Закључак

Повећање броја становника и економски раст већ представљају додатни притисак на ионако ограничене ресурсе и захтевају непрестане напоре у циљу ублажавања ефеката климатских промена. Цемент, као незаобилазан и кључни састојак бетона, имаће веома важну улогу у будућем управљању ресурсима и пружању решења за све већи број становника и урбанизацију.

Са друге стране, цементна индустрија као велики потрошач енергије и сировинског материјала, као и емитер значајних количина CO<sub>2</sub>, применом одговарајућих мера за смањење потрошње енергије и унапређење ефикасности у коришћењу ресурса, *de facto* ће смањивати и емисије CO<sub>2</sub>.

Како би се остварило смањење емисија CO<sub>2</sub>, неопходно је заједнички деловати у **више паралелних правца**. Потребно је наставити рад на успостављеним иницијативама и утврђивању правих комбинација технологија, процеса и инвестиција којом ће се ова разлика, односно смањење у будућности остварити.

У том смислу, могућност смањења емисија CO<sub>2</sub> у **фабрикама цемента у Србији**, оптимизацијом садржаја клинкера у цементу, превасходно ће зависити од следећих чинилаца:

- (1) **Доступности алтернативних материјала који се могу употребљавати за супституцију клинкера;**
- (2) **Ограничења успостављених националним техничким спецификацијама , којима се утврђује најмањи садржај клинкера по типовима цемента и врсте материјала који се могу користити као главни састојци цемента;**
- (3) **Захтева тржишта и**
- (4) **Подршке регулатора.**

<sup>11</sup> У смислу Закона о грађевинским производима („Сл. гласник РС”, бр. 83/2018), српска техничка спецификација је српски стандард са списка српских стандарда којима су преузети хармонизовани стандарди који се примењују у складу са овим законом, српски стандард на који се позива технички пропис и српски документ за оцењивање.

## Доступност алтернативних материјала који се могу употребљавати за супституцију клинкера

Два најчешће употребљавана главна додатна састојка која могу заменити клинкер су гранулисана згура високе пећи (углавном за производњу портланд-композитних цемената CEM II/A и CEM II/B, металуршких CEM III и композитних CEM V цемената), и летећи пепео (за производњу CEM II, CEM IV и CEM V цемената).

Доступност гранулисане згуре високих пећи зависи од локације и излазног материјала високих пећи за производњу сировог гвожђа у сектору челика, док употреба летећег пепела првенствено зависи од расположивости снабдевања из термоелектрана на довољно блиској удаљености од фабрике.

Пуцолански, CEM IV цементи у великој мери се ослањају на пуцоланске материјале, при чему доступност јако варира широм Европе, док их у Србији готово и нема.

И поред тренутне расположивости алтернативних материјала попут летећег пепела и гранулисане згуре, како у ЕУ, тако и у Србији, постоји велика забринутост у погледу њихове доступности у будућности.

Процењује се да ће због европске агенде за декарбонизацију, количине доступне гранулисане згуре из сектора челика и електрофилтерског (летећег) пепела из енергетског сектора, у будућности бити јако ограничене, у поређењу са другим регионима света или ће пак, услед примене техника за смањење емисија азотових оксида у термоелектранама са погоном на угљ, летећи пепео постати неупотребљив као састојак у производњи цемента, због виших концентрација NH<sub>3</sub> (амонијака).

Даља истраживања су у току како би се сагледали други материјали који би се могли користити у будућности, као што су активирана глина, SiO<sub>2</sub> (силицијум-диоксид), отпадни пуцолански материјали и шљак из других индустрија.

## Ограничења успостављена националним техничким спецификацијама

Европски и изворни национални стандарди, као инструмент за подршку приоритетима Србије, могу имати стратешку улогу у решавању тренутних и будућих изазова. Они представљају кључне алате за обезбеђивање поузданих и тржишно заснованих решења, којима се смањује интензитет гасова стаклене баште.

То подразумева подршку развоја стандарда који имају за циљ:

- (1) Одређивање алтернативних састава бетона и цемента
- (2) Успостављање техничких захтева за карактеристике ново-развијених производа (цемента и бетона) и
- (3) Усклађивање производа и метода испитивања





## Захтеви тржишта

Различити климатски услови, доступност сировина и искуство довели су до значајних разлика у праксама на локалним и регионалним тржиштима о томе које врсте цемента се могу користити за специфичне примене.

Употреба цемента са високим угљеничним отиском (CEM I) повезана је најчешће са захтевима тржишта за префабрикованим бетоном у нестамбеном и грађевинском сектору.

Уобичајена пракса, односно историјска знања о перформансама цемента у различитим применама захтевају корените промене у смеру подизања свести потрошача о перформансама портланд-композитних цемената и могућностима његове примене.

## Подршка регулатора

- Обезбеђивање обавезујуће примене прописа и стандарда којима се специфицирају различите врсте додатака за смањење садржаја клинкера у цементу и пружање подршке промоцији употребе композитних цемената. Кампањама за подизање свести, обукама у индустрији и образовањем, може се позитивно утицати на прихватање нискоугљеничних цемената и ширу распрострањеност њихове употребе.
- Иако значајан део производње цемента није изложен прекограничној конкуренцији, кључно је да механизми одређивања такси за емитовање CO<sub>2</sub> 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 се за сваки проценат смањења удела клинкера уштеди 8 до 9 тона CO<sub>2</sub> по тони цемента.
- Обезбеђивање подршке и приступа фондовима за финансирање истраживања и развоја, имајући у виду да чврсто усмерење индустрије на нове врсте цемента и бетона има потенцијал да пружи одговор на захтеве за ниско угљеничном и одрживом производњом и градњом код којих се води рачуна о ефикасном коришћењу ресурса.





Велики део радова у грађевинској индустрији који захтевају употребу цемента обављају се за потребе јавног сектора, на пример, инфраструктура, као што су мостови и путеви, болнице и школе. У недавном извештају, Организација Уједињених нација за индустријски развој претпоставља да јавни пројекти чине 40% укупне употребе цемента (UNIDO, 2021<sup>12</sup>). Ако би правила јавних набавки захтевала сертификовани нискоугљенични цемент, то би могло значајно унапредити декарбонизацију цементне индустрије.

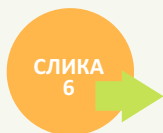
<sup>12</sup> UNIDO, Fostering industry transition through green public procurement: A “How to” guide for the cement & steel sectors, June 2021 ([https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-06/Fostering\\_Industry\\_Transition\\_through\\_Green\\_Public\\_Procurement.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-06/Fostering_Industry_Transition_through_Green_Public_Procurement.pdf))

## Примери развоја употребе цемената са нижим угљеничним отиском у земљама ЕУ

### Аустрија

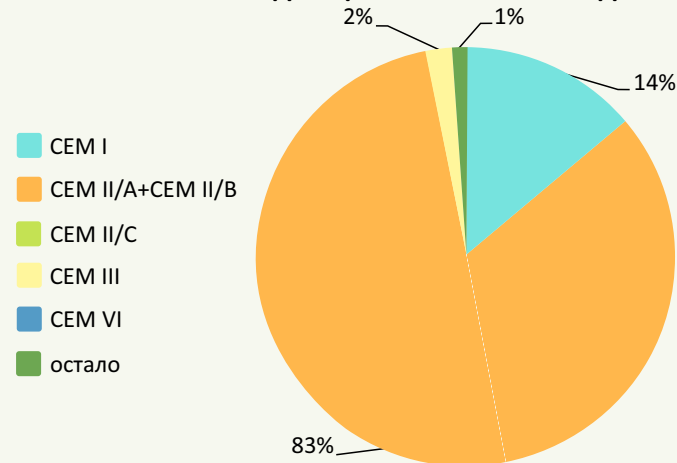
У Аустрији се за справљање готових, префабрикованих и млазних бетона, дуже од 60 година, користе цементи типа CEM II/A. Да би смањила емисију CO<sub>2</sub>, цементна индустрија Аустрије је већ 2007. године почела да истражује перформансе цемента са смањеним садржајем клинкера. Ово је био највећи текући пројекат аустријске асоцијације за цемент, у коме су учествовали сви произвођача цемента у Аустрији<sup>13</sup>. Имајући у виду да је доступност хидрауличних или пуцоланских материјала као што су гранулисана згура високе пећи или летећи пепео ограничена и да њихова будућност неизвесна, планови цементне индустрије Аустрије посвећени су, изнад свега, развоју нових климатски прихватљивих цемената типа CEM II/C и средњорочно развоју цемената типа CEM VI (односно цемената са ниским угљеничним отиском).

Из аустријске асоцијације за цемент поручују да би овакав приступ требало да допринесе смањењу просечног удела клинкера у портфолију са 70 %, колико је износио 2020. године, на 52 % до 2040. године<sup>14</sup>.

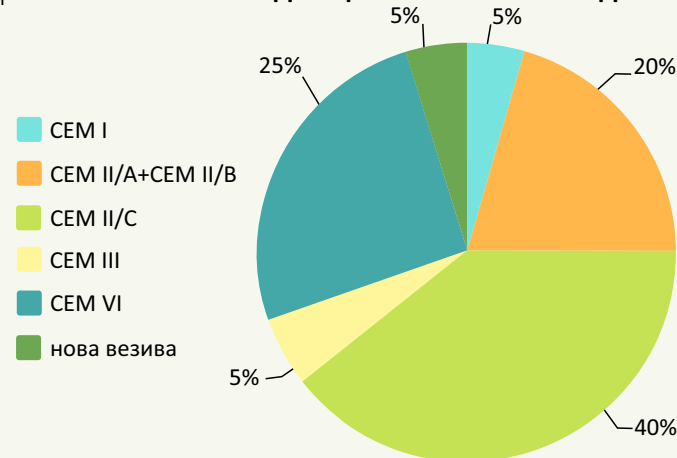


Преглед удела различитих врста цемената у производном асортиману цементне индустрије у Аустрији

### Удео цемената - 2020. година



### Удео цемената - 2040. година



<sup>13</sup> CEMBUREAU, *Cements for a low-carbon Europe: A review of the diverse solutions applied by the European cement industry through clinker substitution to reducing the carbon footprint of cement and concrete in Europe*, 2012

<sup>14</sup> Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ), *Roadmap zur CO<sub>2</sub>-Neutralität der österreichischen Zementindustrie bis 2050, Wie, Was, Wenn, Wien, Mai 2022*

# Декарбонизација у цементној индустрији

CO<sub>2</sub>

## Чешка Република

У Чешкој је просечни удео клинкера у цементу 2020. године износио 79 %.

Просечни захтеви грађевинске индустрије у Чешкој у периоду од 2016. до 2020. године обухватили су 55 % портланд цемента (CEM I), затим портланд цементе (CEM II) са различитим додацима попут гранулисане згуре високе пећи, летећег пепела, кречњака и сагорелог шкриљца, као и њихове мешавине (комбинације), са уделом од 43 % и 2 % металуршког цемента (CEM III)<sup>15</sup>.

Детаљнија анализа тржишта портланд цемената са додацима, у периоду од 2010. до 2020. године, показала је да су портланд цементни са додатком гранулисане згуре високе пећи типа CEM II/A-S и CEM II/B-S, са учешћем од 46 % у домаћој продаји, доминирали на тржишту 2010. године. Удео ових цемената током година се смањивао да би у 2020. години чинио само 32 % у укупно пласираној количини цемената типа CEM II. Нешто мањи пад удела у домаћој продаји имали су портланд композитни цементни са мешаним додатком (CEM II/A-M и CEM II/B-M) са 34 % колико је њихов удео износио 2010. на 31 % у 2020. години. Портланд цементни чији се удео на тржишту повећавао у последњој деценији су цементни са додатком кречњака (CEM II/A-L(LL) и CEM II/B-L(LL)) и то са 21 % у 2010. години на 37 % у 2020. години.<sup>16</sup>

У Чешкој се тренутно производи 9 врста цемента и постоји значајан напор да се овај асортиман прошири.



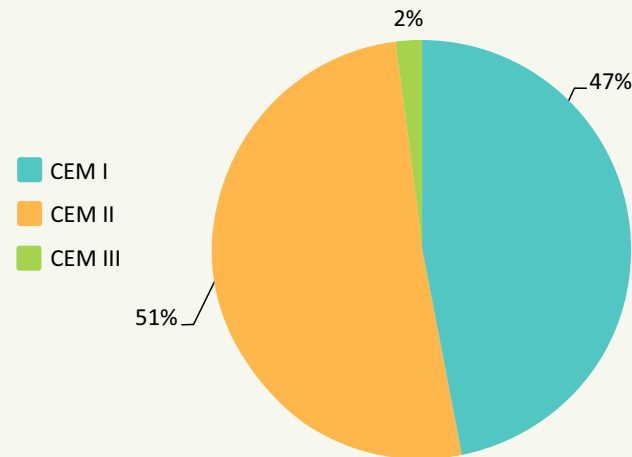
СЛИКА 7

Преглед удела различитих врста цемената у производном асортиману цементне индустрије у Чешкој

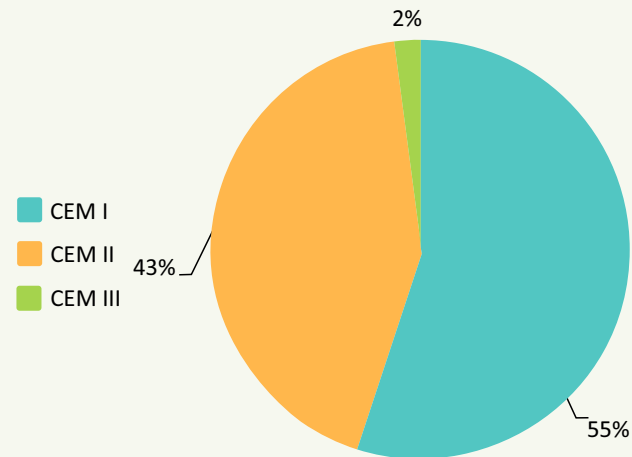
## Портланд композитни цементни - пут ка угљеничној неутралности

ПРИМЕРИ РАЗВОЈА УПОТРЕБЕ ЦЕМЕНАТА СА НИЖИМ УГЉЕНИЧНИМ ОТИСКОМ У ЗЕМЉАМА ЕУ

### Удео цемената - 2010. година



### Удео цемената - 2020. година



<sup>15</sup> Union of Cement Manufacturers of the Czech Republic, Reduction of greenhouse gas emissions in cement and concrete production, 2022

<sup>16</sup> <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2023/01/podil-cementu-na-domacim-prodeji-2008-2021.pdf>

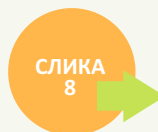
# Декарбонизација у цементној индустрији

CO<sub>2</sub>

## Немачка

Највећи удео на тржишту цемента Немачке чине три типа цемента: Портланд цемент (CEM I, око 27 %), портланд-композитни цемент (CEM II, око 50 %) и металуршки цемент (CEM III, око 22 %).

На свом путу ка климатској неутралности цементна индустрија у Немачкој развила је два сценарија који имају за циљ смањење директних емисија CO<sub>2</sub> до 2050. године. Амбициозни референтни сценарио за декарбонизацију цементне индустрије у Немачкој, заснован је на CEM II/C цементима и клинкер-цементном фактору од 0,63 који је потребно постићи до 2050. године. Сценарио климатске неутралности иде чак и даље од амбициозног референтног сценарија, односно до развоја тржишта цемента са садржајем клинкера од 35 % до 50 %, односно постизања клинкер-цементног фактора од 0,53, тржишног учешћа нових везива од 5 % и употребом водоника као извора енергије<sup>17</sup>.

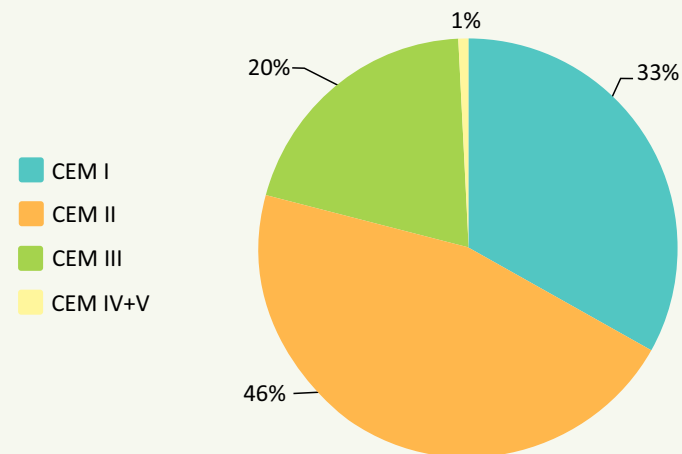


Преглед удела различитих врста цемента у производном асортиману цементне индустрије у Немачкој

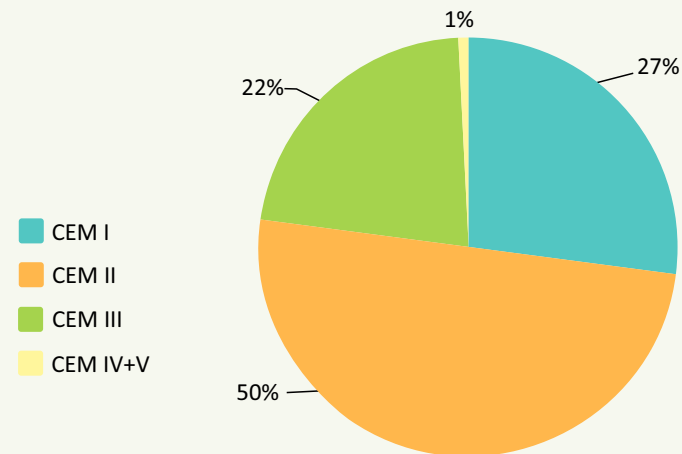
## Портланд композитни цемент - пут ка угљеничној неутралности

ПРИМЕРИ РАЗВОЈА УПОТРЕБЕ ЦЕМЕНАТА СА НИЖИМ УГЉЕНИЧНИМ ОТИСКОМ У ЗЕМЉАМА ЕУ

### Удео цемента - 2010. година



### Удео цемента - 2020. година



## Примери употребе портланд композитних и металуршких цемената у Србији

За потребе бетонирања масивних елемената, односно изградњу енергетских објеката, мостова, колектора, канализацијских и других система, у Лафаржу је развијен цемент ниске топлоте хидратације СЕМ II/В-М (S-V) 42,5N - LH са редукованим садржајем уграђеног угљеника за 30 %. Комбинацијом гранулисане згуре и пепела наведени цемент испуњава све захтеве пројеката који се односе на трајност и издржљивост у агресивним срединама (средине богате сулфатима, нитратима и хлоридима). Поседује и низак ниво алкалија, због чега је погодан за све типове агрегата - природних и рециклираних. Одликује се веома добром кохезијом и обрадивошћу, што погодује бетонским смешама намењеним за пумпање.

Цемент СЕМ II/В-М (S-V) 42,5N - LH успешно је примењен за проширење и реконструкцију постојећег терминала и еколошких постројења, модернизацију приступних путева и изградњу додатних паркинг места за аутомобиле на аеродрому Никола Тесла у Београду.

Објекат	Аеродром Никола Тесла Београд	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	PC 35M (S-V) 42,5N - LH	СЕМ II/В-М (S-V) 42,5N - LH
Произвођач	Lafarge Србија	





Цемент CEM II/A-M (S-L) 42,5R одликује се високим почетним и стандардним чврстоћама. Погодан је за производњу транспортаних и пумпаних бетона као и за носиве бетонске конструкције. Препоручује се за бетоне код којих се захтева трајност (изложени бетони и објекти инфраструктуре). Јединствен је на тржишту Србије због знатно нижег угљеничног отиска, а бољих техничких перформанси у односу на цемент без додатака (CEM I).

Препоручује се за:

- израду префабрикованих бетонских елемената
- производњу бетона високих класа чврстоће
- радове у нискоградњи
- производњу маса за завршне радове у грађевинарству.

Овај јединствени цемент на тржишту Србије примењен је у изградњи пасареле која повезује Београдску тврђаву и Савски кеј, тзв. Калемегданске пасареле.

Објекат	Калемегданска пасарела, Београд	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	PC 20M (S-L) 42,5R	CEM II/A-M (S-L) 42,5R
Произвођач	Lafarge Србија	



Металуршки цемент са ниском топлотом хидратације и сулфатном отпорношћу карактерише висока отпорност на агресивне средине. Коришћењем овог цемента, добијају се бетони продужене трајности, а посебно је погодан за изградњу система за третман отпадних вода, за канализацијске и дренажне системе и системе за наводњавање. Захваљујући ниској топлоти хидратације, овај цемент је идеално решење за производњу масивних конструкција, као што су бране, тунели и темељи. Овај цемент препоручује се и произвођачима обичног бетона, посебно у летњим условима, тј. када су спољне температуре више од 20 °С.

У изградњи Постројења за пречишћавање отпадних вода у Врању (базена, таложника, дигестора итд) коришћен је металуршки цемент са ниском топлотом хидратације и сулфатном отпорношћу, типа СЕМ III/В 32.5N- LH/SR, произведен у фабрици цемента Моравацем у Поповцу.

Објекат	Постројење за пречишћавање отпадних вода у Врању	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	М 20К 32,5N – LH/SR	СЕМ III/В 32,5N - LH/SR
Произвођач	Moravacem	



Портланд композитни цемент СЕМ II/В-М (S-L) 42,5R погодује изради најразноврснијих конструкција од армираног и неармираног бетона. Намењен је превасходно грађевинским компанијама и фабрикама бетона које учествују у изградњи стамбених, пословних и индустријских објеката, као и у инфраструктури. Поред умереног прираста чврстоћа и умереног развоја топлоте хидратације, бетон справљен са овим цементом погодан је за дужи транспорт, уз редуковано скупљање и ређу појаву пукотина.

У изградњи рударских просторија (нископи, окна, ходници...) у руднику Чукару Пеки код Бора, користи се портланд композитни цемент СЕМ II/В-М (S-L) 42.5R произведен у фабрици цемента Моравцем у Поповцу.

Објекат	Рудник Чукару Пеки, рударске просторије	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	PC 35M (S-L) 42,5R	СЕМ II/В-М (S-L) 42,5R
Произвођач	Moravacem	



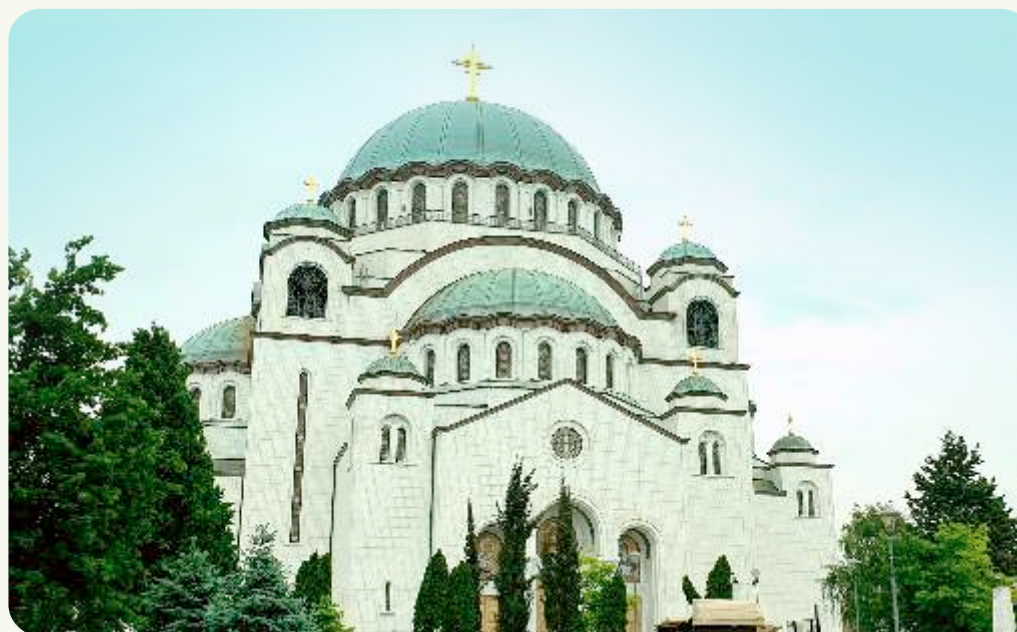


Цемент PC 20M (S-L) 42,5R односно CEM II/A-M (S-L) 42,5R је цемент високих почетних и стандардних чврстоћа, стабилног квалитета, намењен за производњу свих врста бетона и изградњу свих врста објеката (пословних, стамбених и индустријских).

Препоручује се за израду захтевних бетонских конструкција, изградњу мостова, тунела, путева и других објеката. Погодан је за производњу бетона виших класа чврстоће, као и за бетоне који се користе у агресивним срединама, показујући веома високу отпорност на дејство мраза и соли.

Погодан је за израду префабрикованих бетонских елемената, као и за производњу маса за завршне радове у грађевинарству (лепкове, суве малтере). Уз употребу овог цемента, изграђени су бројни објекти, као што су: Храм Светог Саве у Београду, Београдска Арена, Кула West 65, нова пословна зграда компаније Делта Холдинг, зграда Народне банке Србије на Славији, контролни торањ на аеродрому Никола Тесла и др.

Објекат	Храм Светог Саве, Београд	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	PC 20M (S-L) 42,5R	CEM II/A-M (S-L) 42,5R
Произвођач	Титан Цементара Косјерић	



Цемент РС 35М (V-L) 42,5N односно СЕМ II/B-M (V-L) 42,5N произведен је млевењем портланд цементног клинкера, мешаног додатка силикатног летећег пепела и кречњака, уз оптималну количину гипса.

Цемент широке примене, погодан за производњу транспортованог и пумпаног бетона, као и за израду свих врста армираних и неармираних бетонских конструкција. Високе стандардне чврстоће и стабилност квалитета овог цемента, омогућавају његову употребу у производњи бетона високих марки, изложених умерено агресивним срединама, док ниска топлота хидратације чини овај цемент посебно погодним за примену током летњих месеци и омогућава употребу овог цемента при производњи масивних бетонских конструкција, као што су бране, тунели и темељи.

Уз употребу овог цемента изграђен је тунел Прогон у Димитровграду и неколико тунела на аутопуту у Црној Гори, као и нови фудбалски стадион у Лозници.

Објекат	Фудбалски стадион, Лозница	
Тип конструкције	Армирано - бетонска конструкција	
Тип цемента	РС 35М (V-L) 42,5N	СЕМ II/B-M (V-L) 42,5N
Произвођач	Титан Цементара Косјерић	





## Декарбонизација у цементној индустрији

CO<sub>2</sub>



Портланд композитни цементи - пут ка угљеничној неутралности

Стручна рецензија:

др Немања Станисављевић, професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду  
др Биљана Илић, Институт за испитивање материјала, Београд

Дизајн:

Предраг Тодоровић + STUDIO S



Краља Милана 4 - 11000 Београд

Тел. +381 11 36 20 090

[office@cis.org.rs](mailto:office@cis.org.rs) - [www.cis.org.rs](http://www.cis.org.rs)

ПОЧЕТНА  
СТРАНА

