

BRAVOBRIK



Potencijal primjene različitih vrsta pepela u građevnim proizvodima

prof. dr. sc. Nina Štirmer
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet
Zavod za materijale



Funded by
the European Union

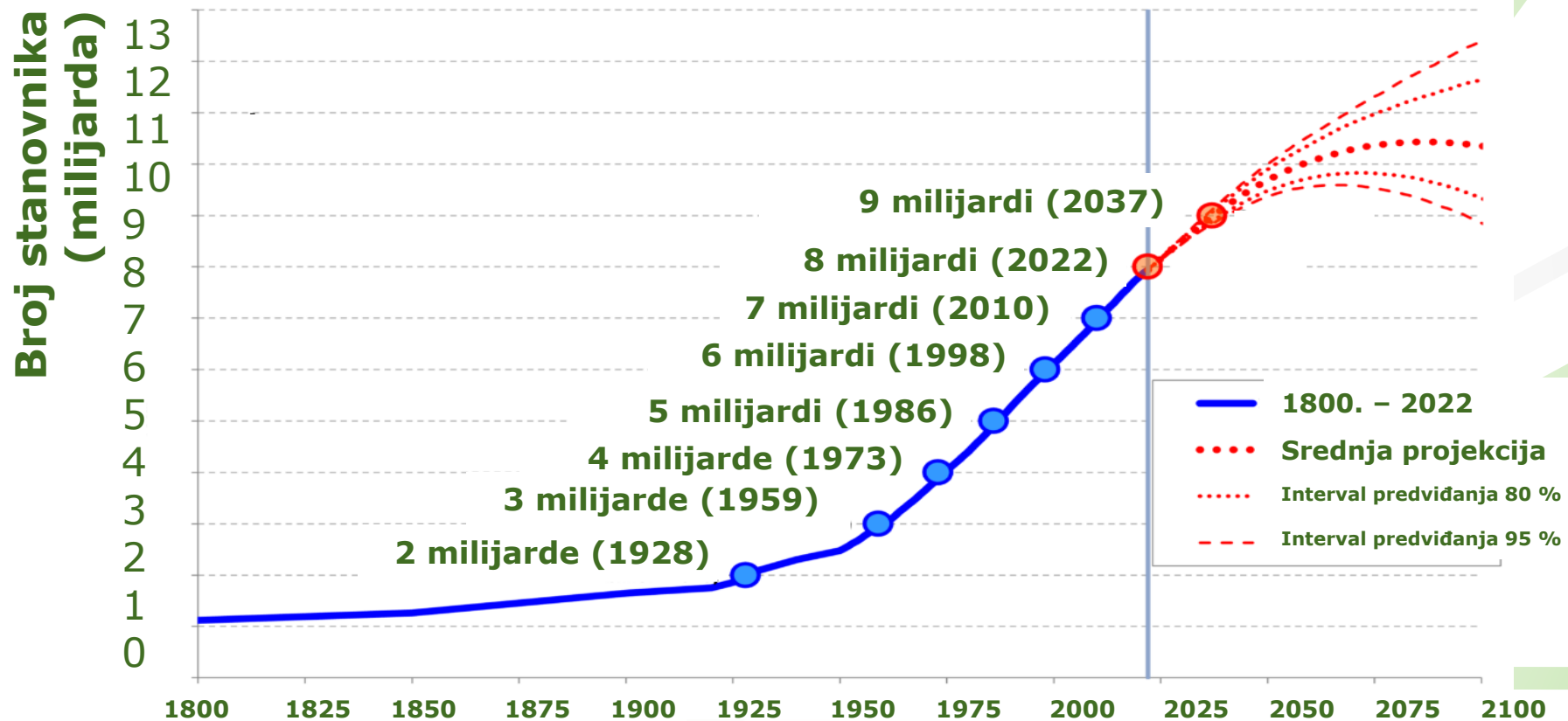


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET



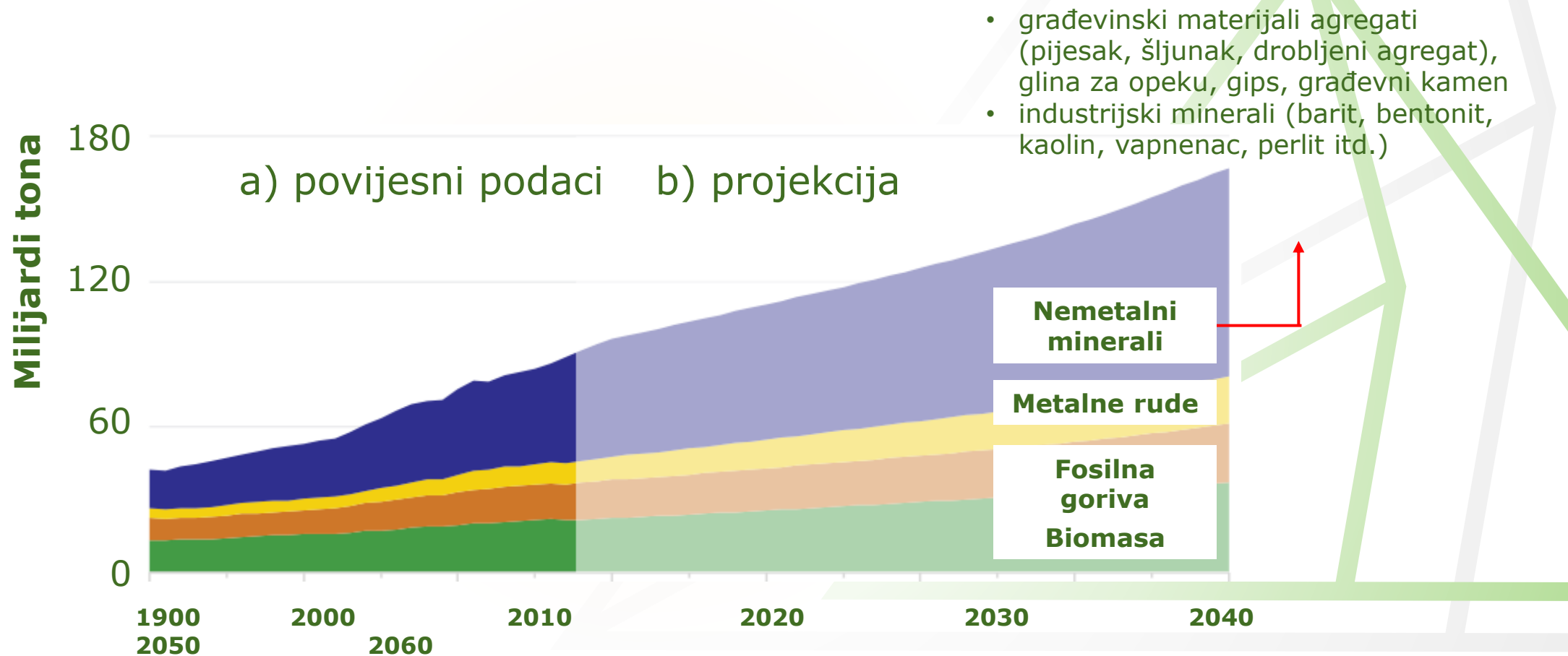
HRZZ
Hrvatska zaklada
za znanost

Rast stanovništva



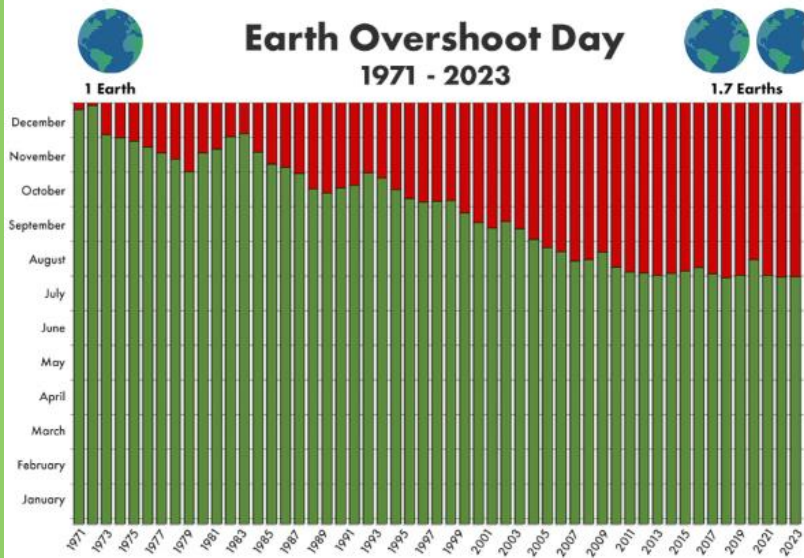
Izvor: <https://populationconnection.org/wp-content/uploads/2022/07/1800-2100.png>

Globalna uporaba materijala prema vrsti izvora



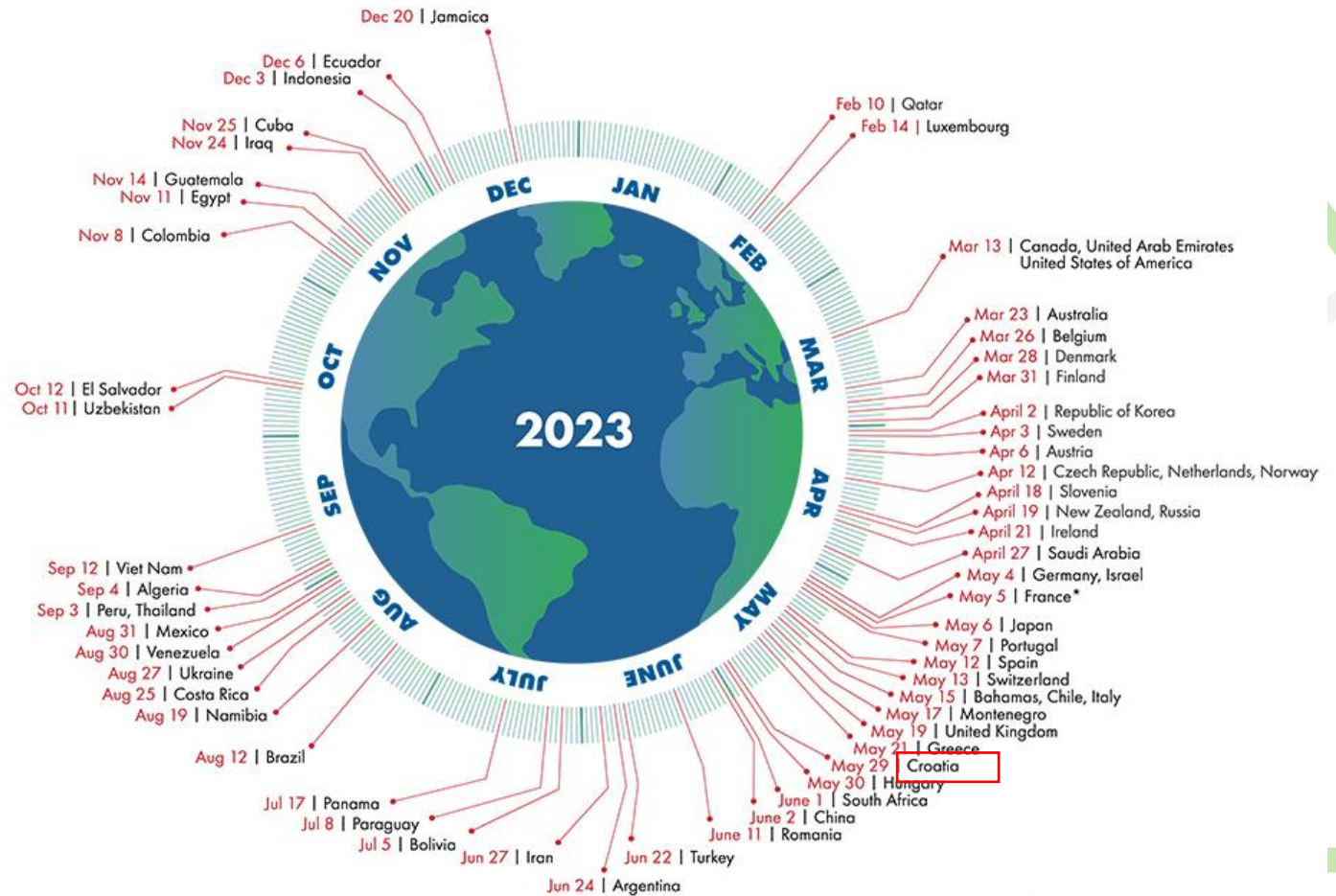
Izvor: Raw Materials Scoreboard 2021, European Commission, EIP on Raw Materials

Dan ekološkog prekoračenja - dan kada je ekološki otisak premašio biološke kapacitete planeta



Country Overshoot Days 2023

When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like...



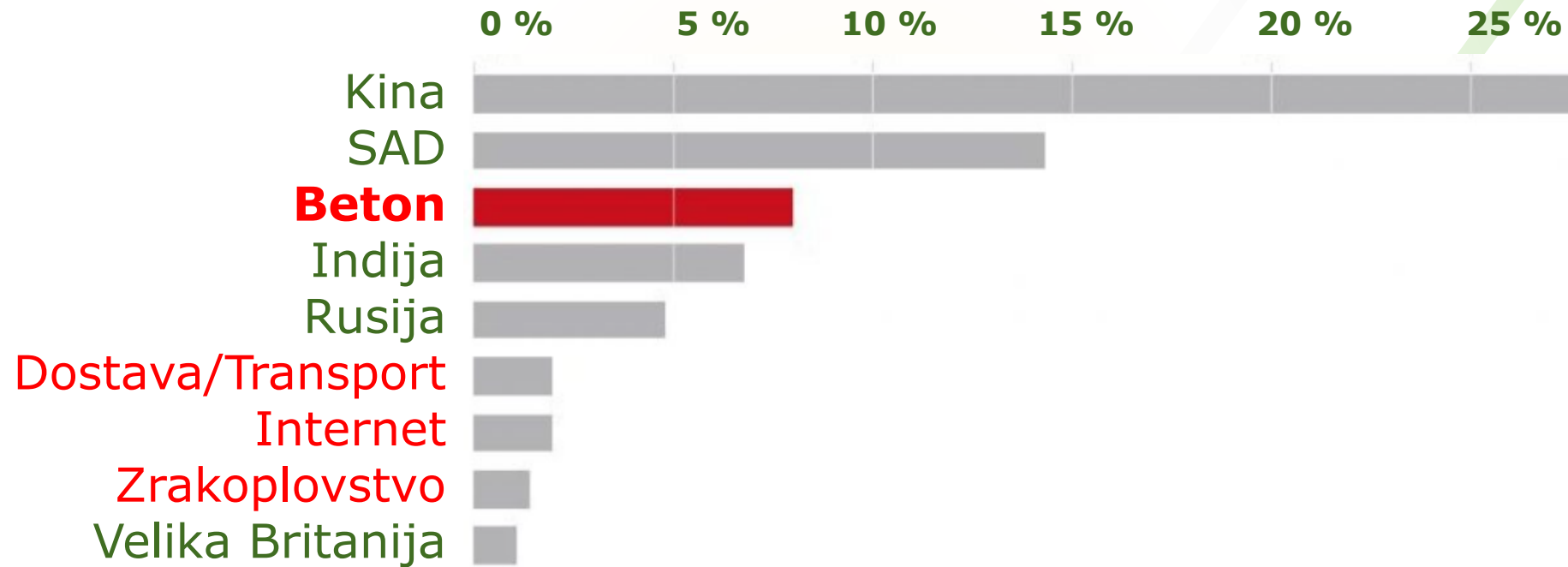
For a full list of countries, visit overshootday.org/country-overshoot-days.
*French Overshoot Day based on nowcasted data. See overshootday.org/france.

Source: National Footprint and Biocapacity Accounts, 2022 Edition
data.footprintnetwork.org



Izvor:
<https://www.overshootday.org/>

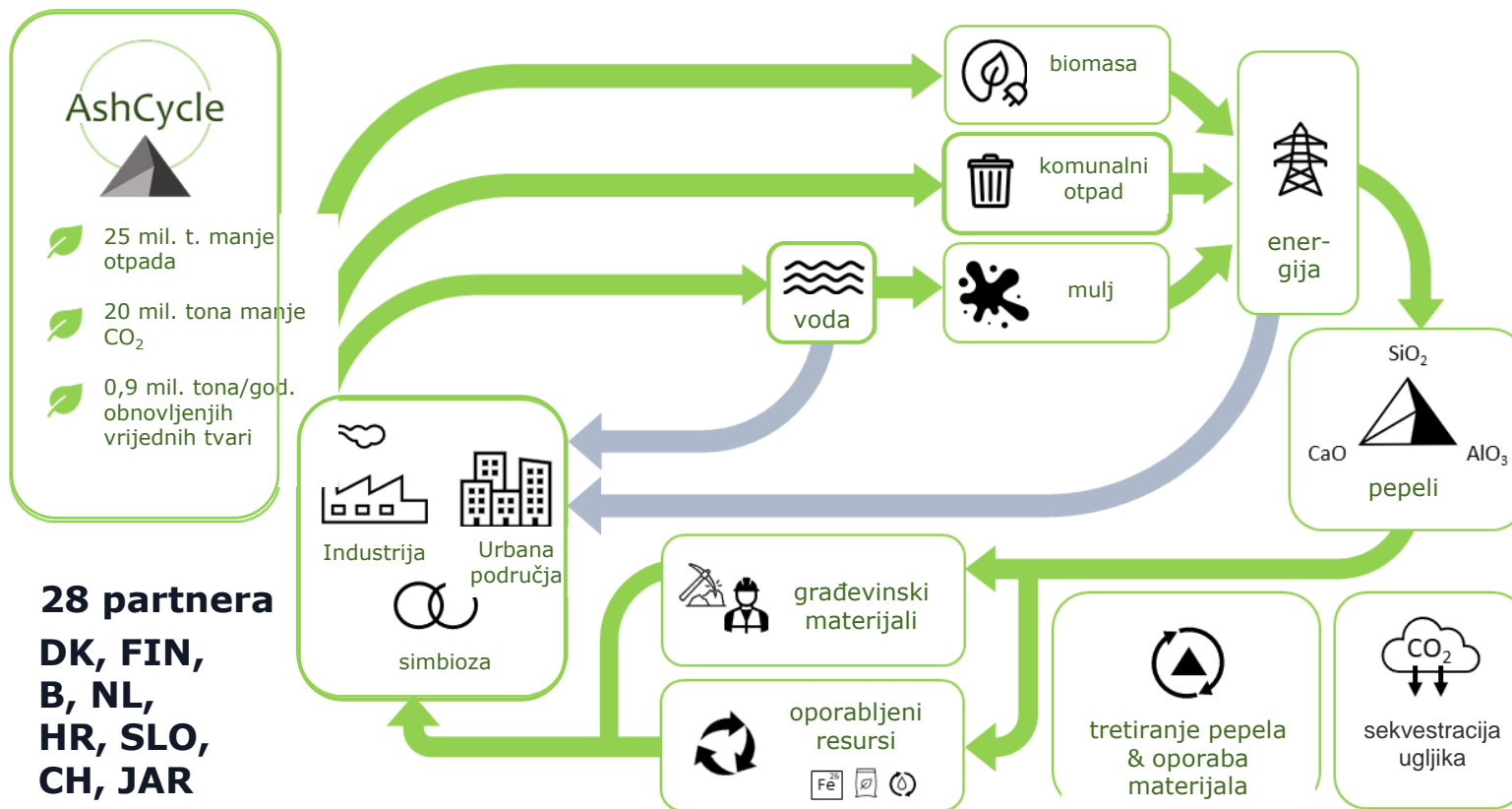
Emisije CO₂



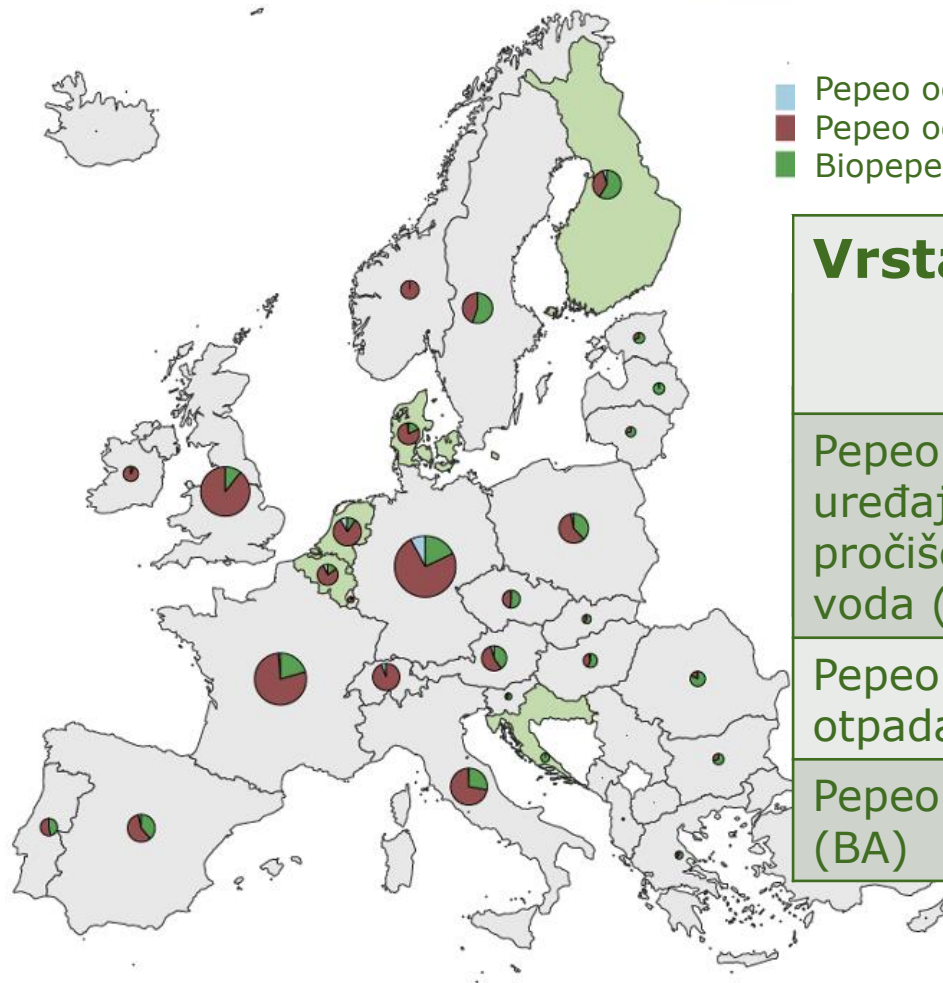
Izvor: <https://inengineering.ca/carbon-emissions-of-the-construction-industry>

HORIZON projekt AshCycle - Integration of Underutilized Ashes into Material Cycles by Industry-Urban Symbiosis

1. 6. 2022. – 31. 5. 2026.



Količine pepela u Europi



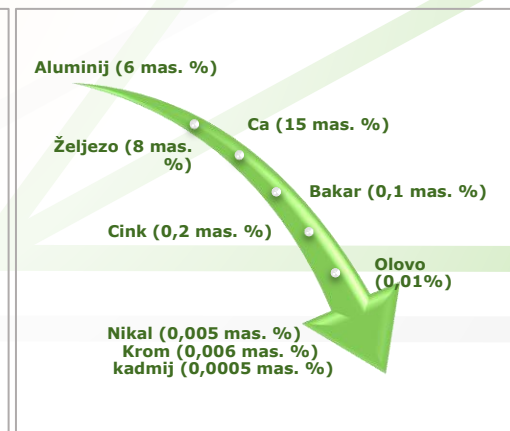
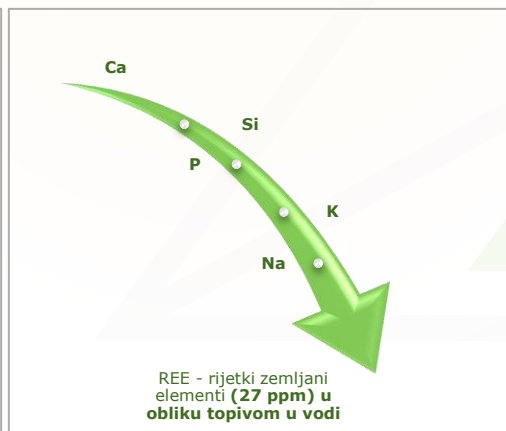
- Pepeo od mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (SSA)
- Pepeo od komunalnog otpada (s dna peći)
- Biopepeli

Vrsta pepela	2020. mil. tona/god.	Procjena 2040. mil. tona/god.
Pepeo od mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (SSA)	0,7	~2
Pepeo od komunalnog otpada (MSWI)	17	~17
Pepeo drvene biomase (BA)	6	~12

Potencijal pepela

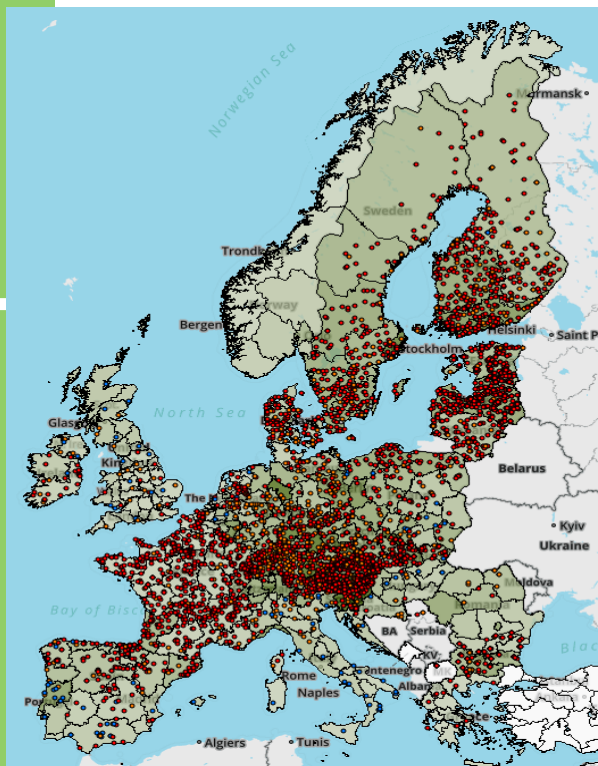


Pepeo od komunalnog otpada	Pepeo drvne biomase	Pepeo od mulja
250 Mt/god. u EU	480 Mt/god. globalno	0,7 – 20 Mt/god. u EU
25 mas. % kom. otpada se spaljuje	EU – 70% se odlaže, 30% dodatak tlu u poljoprivredi	27 % mulja se spaljuje u EU
Najveći udio: pepeo s dna peći (17 Mt/god.)	Varijacije u sastavu ovisno o procesu izgaranja (leteći, s dna, miješani)	Veliki udio fosfora (5-10 mas. %) – kritična sirovina u EU



Potencijal oporabe vrijednih elemenata iz pepela (MSWI i SSA)

Pepeo	Metal	Potencijal oporabe (t/god)	Tržišna cijena (EUR/t)	Ukupna vrijednost (EUR)
Pepeo od komunalnog otpada (MSWI)	Aluminij	240.000	2211	530.640.000
	Čelik	231.000	451	104.120.478
	Bakar	75.000	7960	597.000.000
	Cink	24.000	2538	60.912.000
	Olovo	3.000	2051	6.153.000
	Srebro	200	82	16.304
	Zlato	10	1516	15.160
Pepeo od mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (SSA)	Kalcij	108.000	421	45.441.000
	Fosfor	88.560	116	10.272.960
	Željezo	57.600	140	8.064.000
	Aluminij	43.200	2211	95.515.200
	Cink	14.400	2538	36.547.200
	Bakar	7.200	7960	57.312.000
	Olovo	720	2051	1.476.720
	Nikl	36	16260	585.360
Izvor: Indexmundo.com			Ukupno (EUR)	1.554.071.382



Lokacije energana na biomasu u EU

Brinje

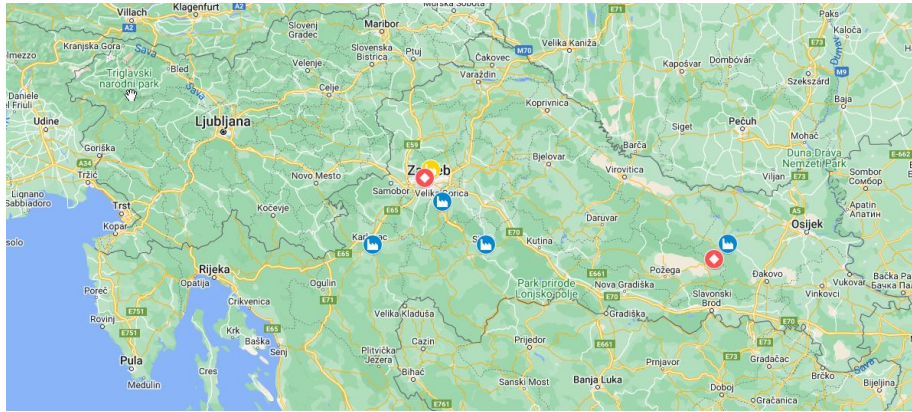


Glina



Planirane lokacije energana na biomasu u Hrvatskoj

Mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda



Karlovac
Velika Gorica
Sisak
Našice
Zagreb

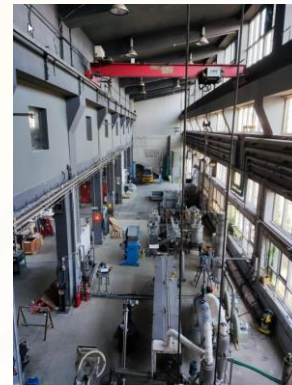
Primjer



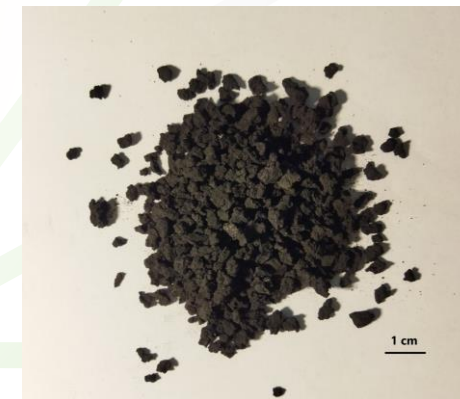
prikupljeno
150 kg
mulja



sušenje na 105 °C –
cca 47 kg



termička
obrada na
900 °C
(prototip)



cca 23 kg pepela, KA
+
sintetički plin kao
energija



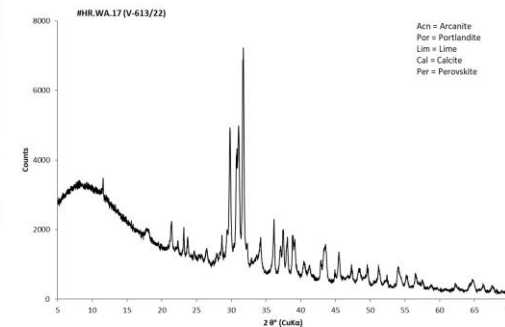
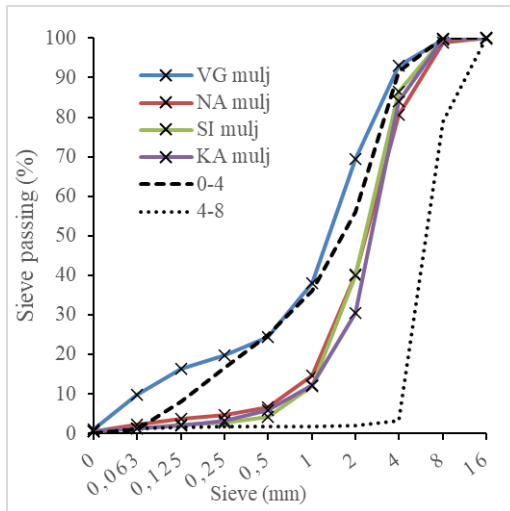
Kriteriji za kemijska svojstva letećeg pepela prema HRN EN 450-1:2013

Svojstvo	Norma	Kriterij
Gubitak žarenjem	HRN EN 196-2:2013	Razred A < 5,0 mas. % Razred B < 7,0 mas. % Razred C < 9,0 mas. %
Sadržaj klorida, Cl ⁻	HRN EN 196-2:2013	< 0,10 mas. %
Sadržaj sulfata, SO ₃	HRN EN 196-2:2013	< 3,0 mas. %
Sadržaj slobodnog kalcijevog oksida	HRN EN 451-1:2017	< 1,5 mas. %
Sadržaj reaktivnog kalcijevog oksida*	HRN EN 197-1:2012	< 10,0 mas. %
Sadržaj reaktivnog silicijevog dioksida**	HRN EN 197-1:2012	> 25 mas. %
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	HRN EN 196-2:2013	> 70 mas. %
Ukupni sadržaj alkalija, Na ₂ O _{eq}	HRN EN 196-2:2013	< 5,0 mas. %
Sadržaj magnezijevog oksida, MgO	HRN EN 196-2:2013	< 4,0 mas. %
Sadržaj ukupnog fosfata, P ₂ O ₅	ISO 29581-2	< 5,0 mas. %
Sadržaj topivog fosfata, P ₂ O ₅	HRN EN 450-1:2013, Dodatak C	< 100 mg/kg

Kriteriji za fizička svojstva letećeg pepela prema HRN EN 450-1:2013

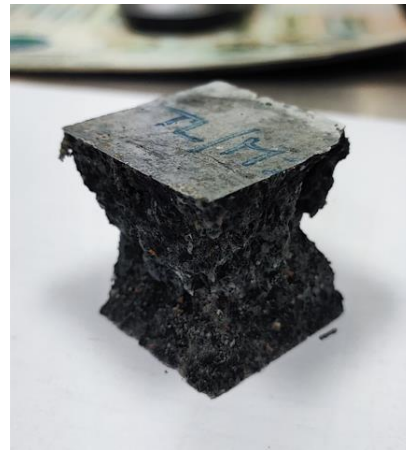
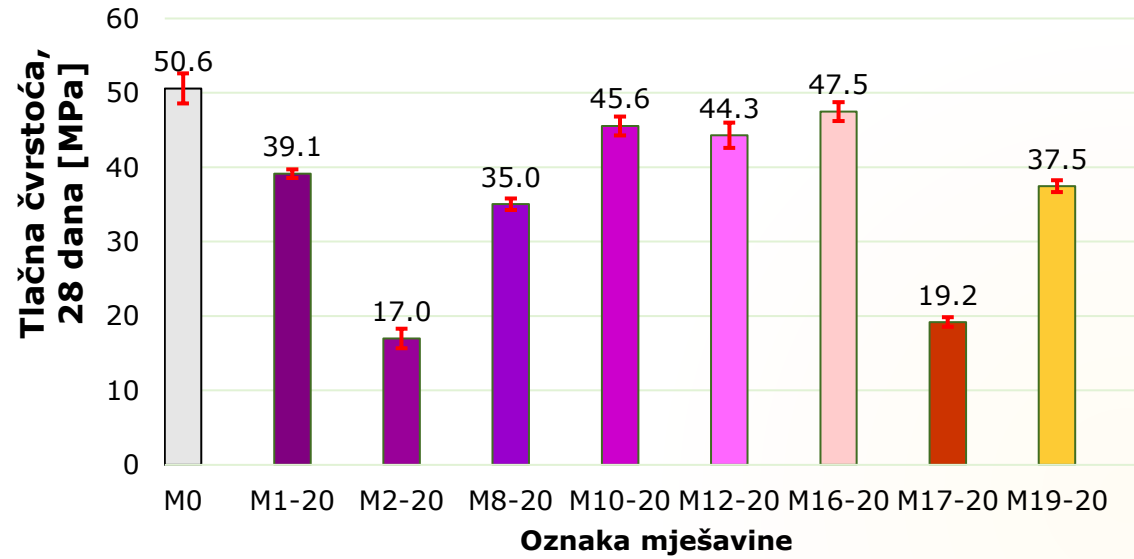
Svojstvo	Norma	Kriterij
Udio sitnih čestica	HRN EN 451-2:2017 ili HRN EN 933-10:2009	Razred N < 40,0 mas. % (± 10 % od deklarirane vrijed.) Razred S < 12,0 mas. %
Indeks aktivnosti	HRN EN 196-1:2016	28 dana > 75 % 90 dana > 85 %
Postojanost volumena	HRN EN 196-3:2016	< 10 mm
Gustoća čestica	HRN EN 1097-7:2008	± 200 kg/m ³ od deklarirane vrijednosti
Početak vremena vezivanja	HRN EN 196-3:2016	Ne smije biti više od 2 x dulje od početka vezivanja referentne mješavine
Potreba za vodom	HRN EN 450-1:2013, Dodatak B	Razred N - nema zahtjeva Razred S < 95,0

Karakterizacija i kategorizacija pepela

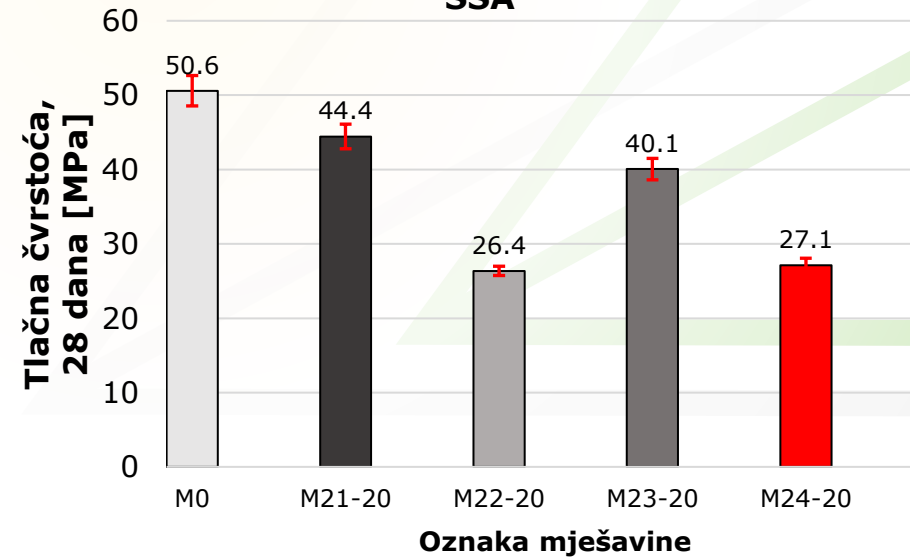


Mort – PDB/SSA (pepeo od mulja)

Leteći PDB



SSA



Zamjena dijela klinkera – miješani cementi (paste i mortovi)

Građevinski fakultet, NEXE, DOK-ING

Lokacija	Vrsta pepela
Slavonski Brod OIE	WBA leteći
Gospić	WBA leteći
Babina Greda	WBA leteći
Požega	WBA miješani
Karlovac	SSA
Našice	SSA

Metode
XRF
Gubitak žarenjem
Toplina hidratacije
Sadržaj slobodnog CaO
Gustoća - Le Chatelier
Raspodjela veličine čestica
Normirana konzistencija
Vrijeme vezivanja
Postojanost volumena
Konzistencija rasprostiranjem
Gustoća
Sadržaj zraka
Temperatura
Tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje, 2 i 28 dana



Alkalnoaktivirani materijali

Prethodna obrada pepela

- (Žakanje, miješani)
 - prosijavanje (4 mm)
 - mljevenje (3 min)



- (Žakanje, miješani)
 - prosijavanje (4, 0.5 mm)
 - mljevenje (3 min)



- (Gospić, leteći)
 - bez tretiranja



- (Karlovac, s dna)
 - prosijavanje (4 mm)
 - mljevenje (3 min)



Opeka s PDB-om

Dilj d.o.o. Vinkovci



Uzorci
Prizmice: 15 x 10 x 1 cm
Pečenje u industrijskim
uvjetima



Građevinski fakultet



Uzorci:
Valjak: $\varnothing 5$ cm
h=1,5 cm
Lab. peč 950 °C

Demonstracije

- 1. Pješačka staza** s betonskim opločnicima, rubnjacima i kanalicama za odvodnju oborinske vode
- 2. Ulični namještaj ili proizvodi za vrt** od betona s miješanim cementima
- 3. Elementi uličnog namještaja ili opločnici** od alkalnoaktiviranih materijala



Zaključak

Sektor	Društveno-ekonomske potrebe	Kružni potencijal	Izazovi
Građevinski sektor	Smanjenje negativnih vanjskih učinaka na okoliš za povećanje konkurentnosti	Zamjena dijela portlandskog cementa pepelom ili primjena u alkalnoaktiviranim materijalima	Povećanje svijesti i prihvaćanje razvijenih proizvoda
Javni sektor (komunalne djelatnosti)	Smanjenje odlaganja otpada, izdvajanje vrijednih elemenata, dobivanje materijala visoke vrijednosti	Oporaba vrijednih elemenata i korištenje mineralnih ostataka u građevinskim materijalima	Optimiziranje nastanka otpada za daljnje preuzimanje obradu
Izdvajanje vrijednih elemenata	Potreba za rijetkim prirodnim resursima (npr. fosfor)	Oporaba vrijednih elemenata iz otpada	Visoki troškovi
Pročišćavanje otpadnih voda	Potreba za novim procesima kako bi se ispunili zahtjevi za zaštitu okoliša	Oporaba vrijednih elemenata iz otpadnih voda	Povećanje svijesti javnosti/sektora, visoki troškovi



BRAVOBRICK



HVALA NA POZORNOSTI

nina.stirmer@grad.unizg.hr



www.ashcycle.eu
www.bravobrick.com

