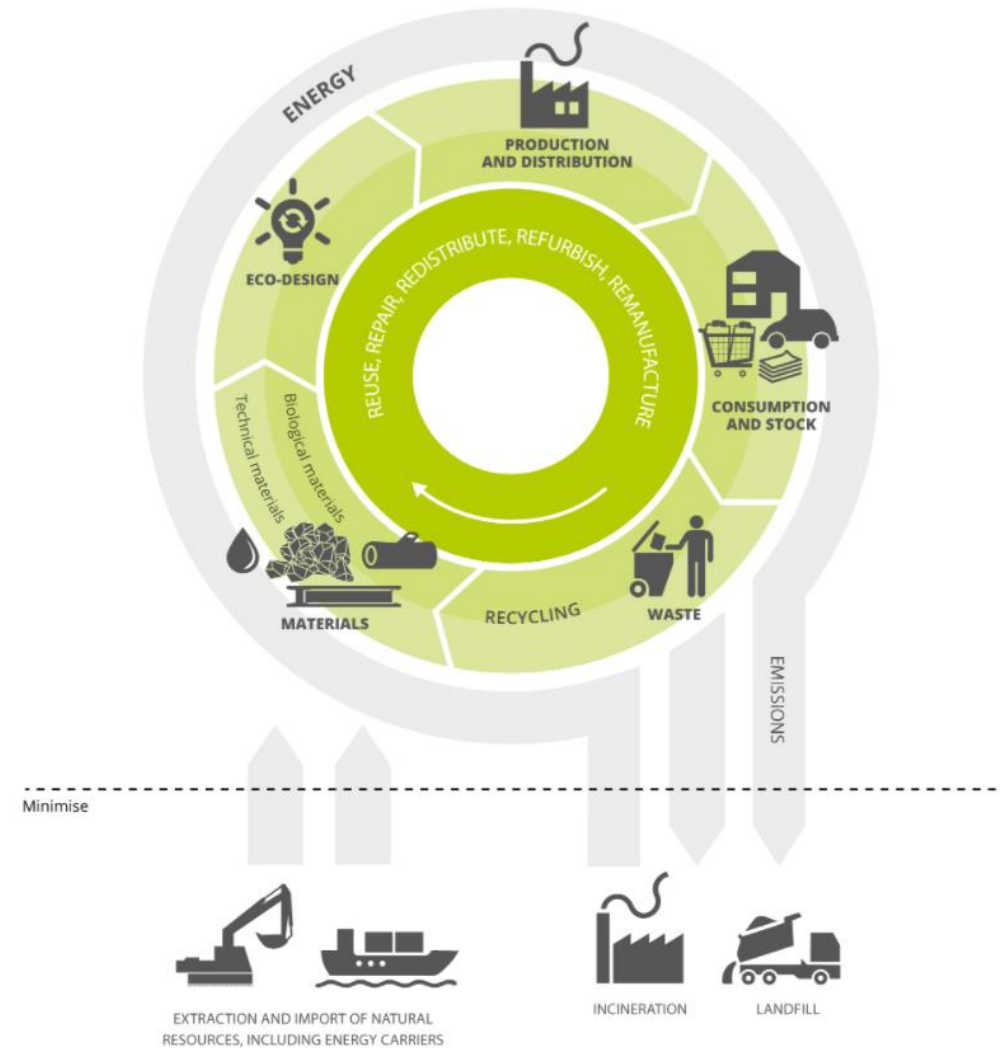


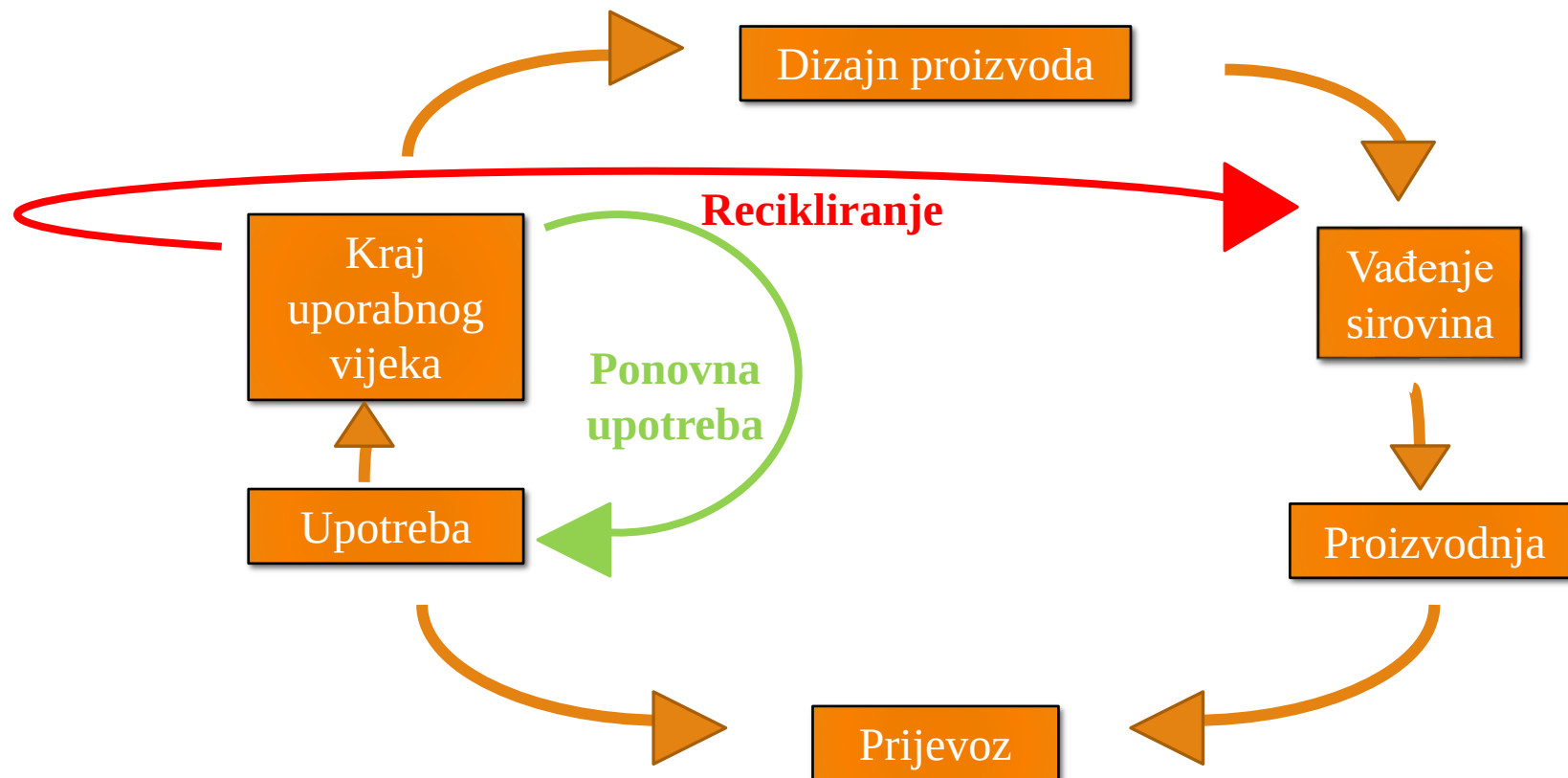
Mogućnosti upotrebe sekundarnih i recikliranih materijala u građevinarstvu

prof. dr. sc. Nina Štirmer
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

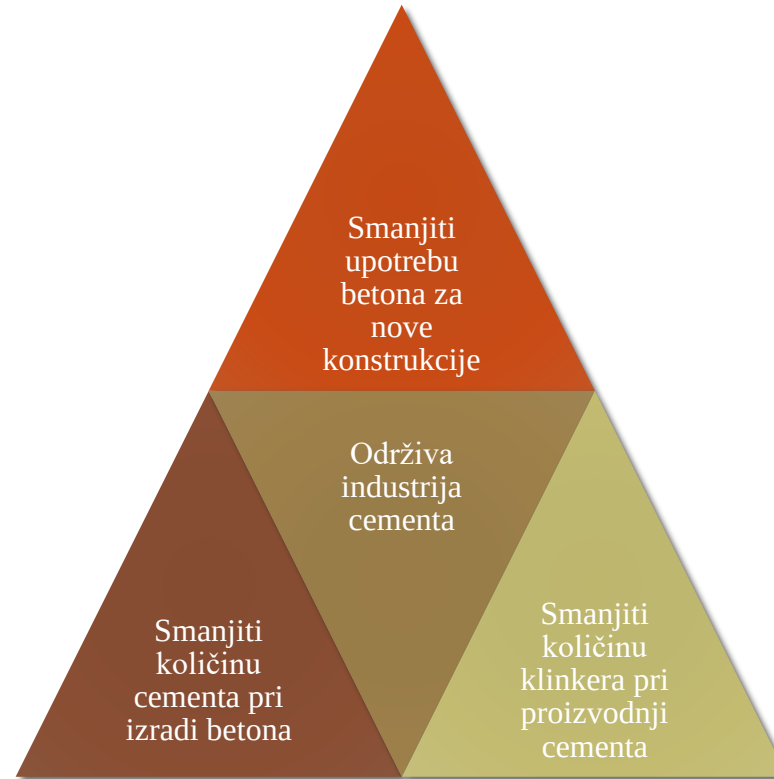
- **koncept cirkularne ekonomije** → sustavi u kojima se za proizvodnju koriste prirodni resursi i u kojima proizvodi nakon svog uporabnog vijeka postaju otpad, zamjenjuju se sustavima koji ponovno koriste i recikliraju resurse te štede energiju
- **do 2050.** - četverostruko do deseterostruko povećanje učinkovitosti resursa

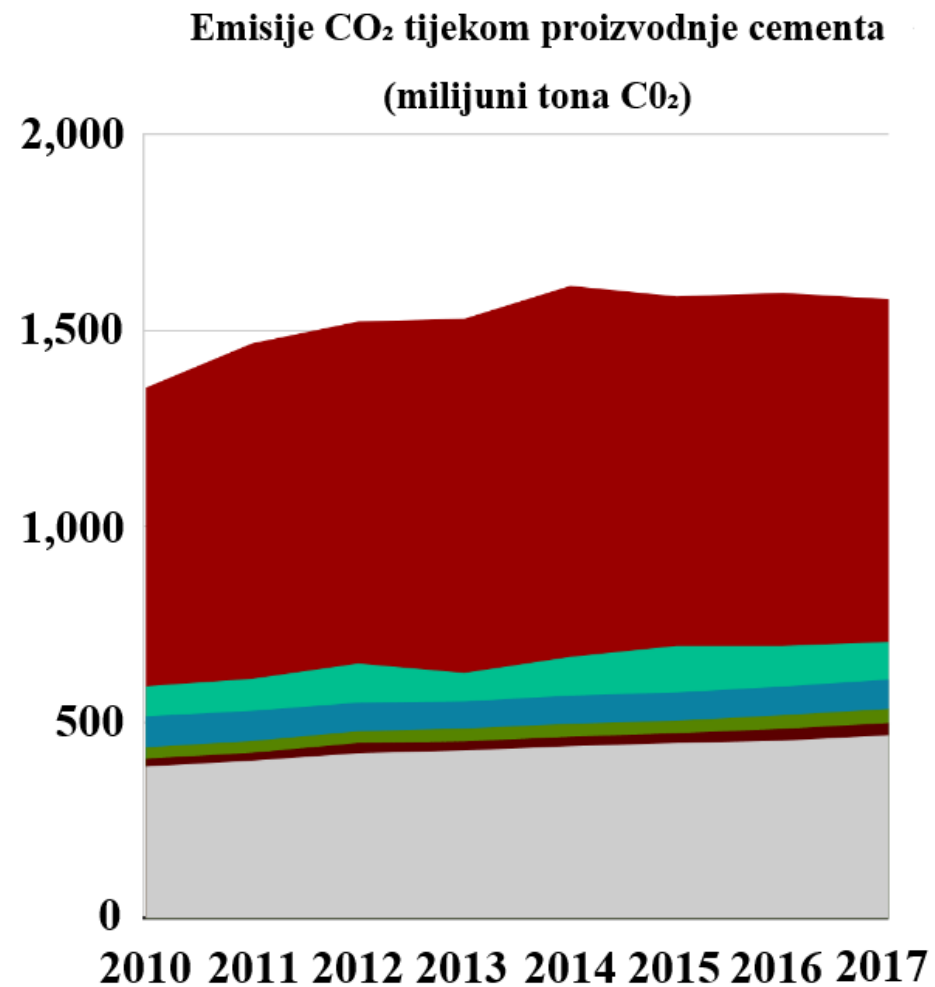
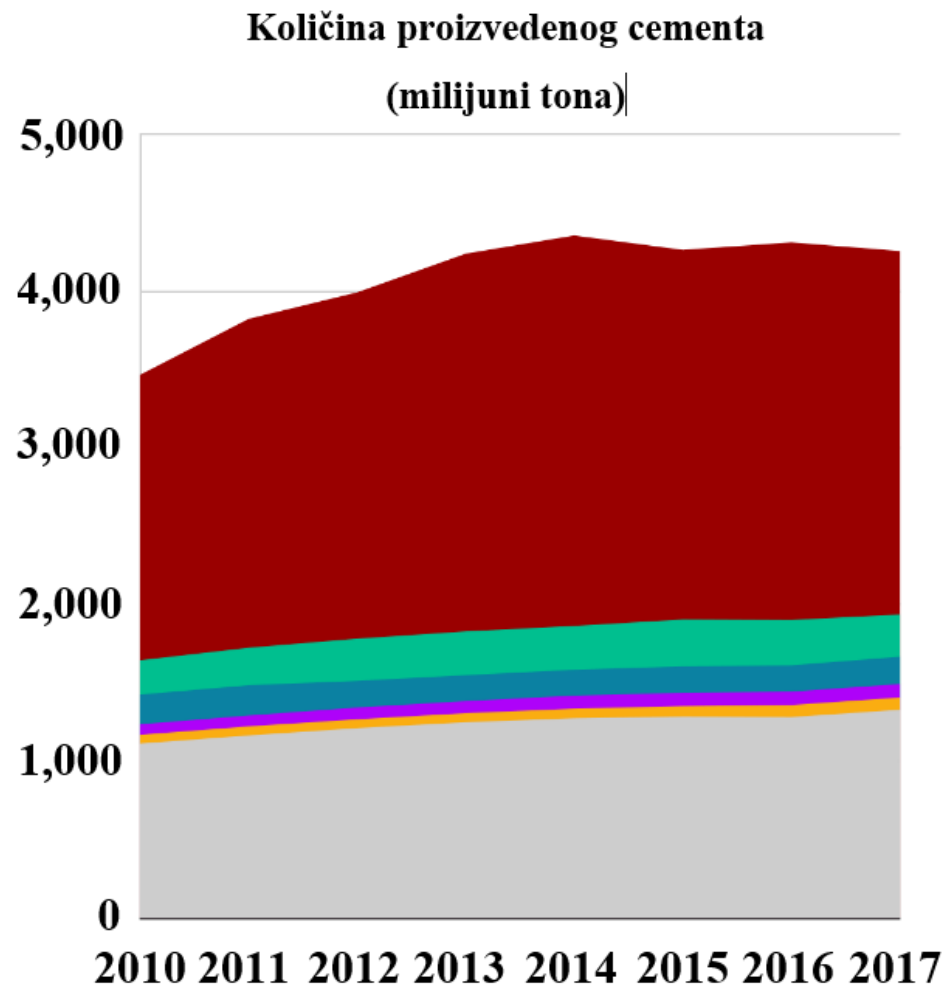


- **Kružna ekonomija za građevinski sektor:** "Pristup životnom ciklusu koji optimizira vijek trajanja zgrada, integrirajući fazu završetka uporabnog vijeka i korištenje novih modela u kojima se **materijal** samo privremeno skladišti **u zgradama** i djeluje kao **banka materijala**". (Leising i sur., 2018.)

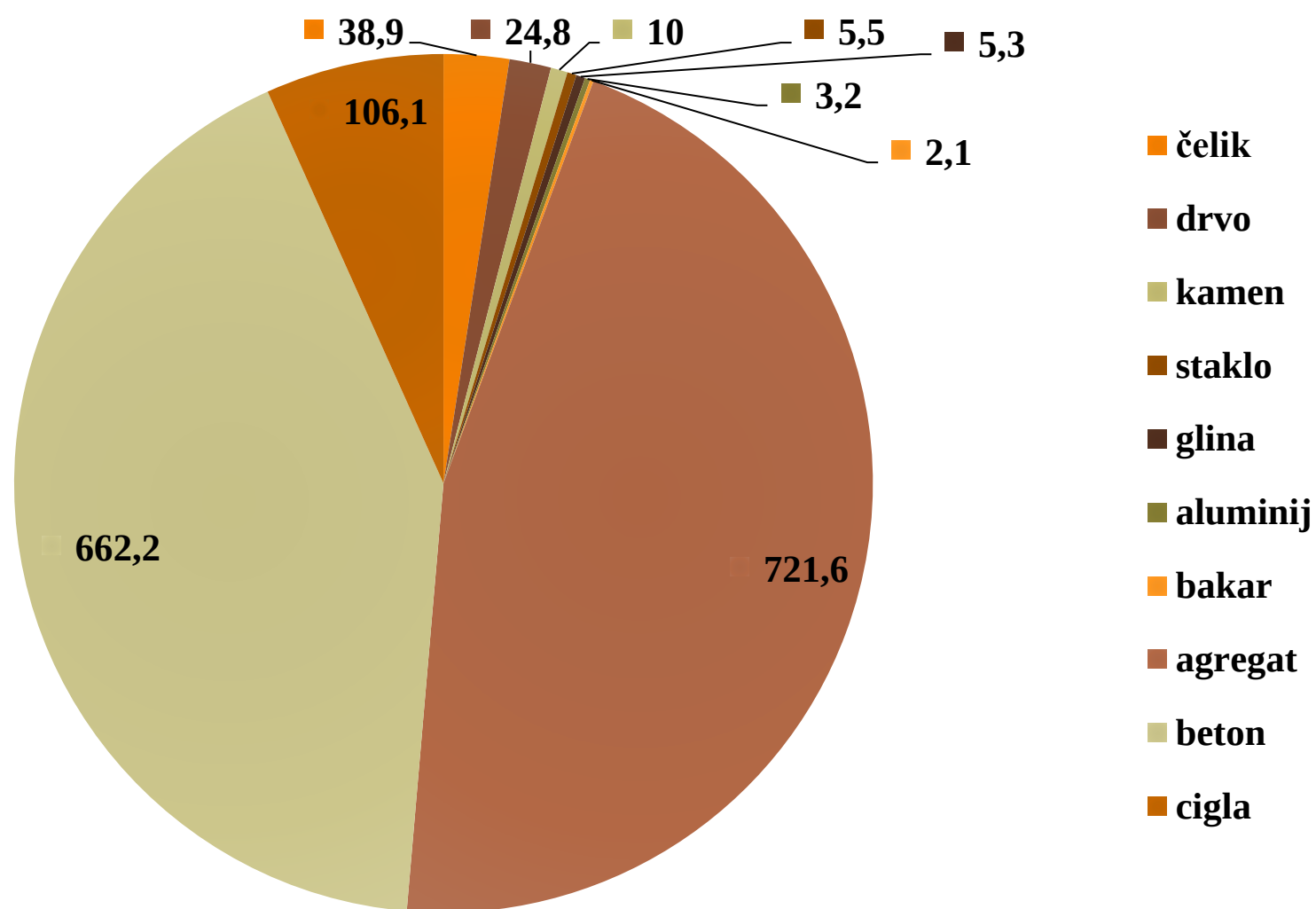


- glavni uzrok globalnog zatopljenja → 5 – 7 % ukupne emisije stakleničkog plina CO₂
- manja dostupnost prirodnih resursa → vapnenac, pijesak, prirodni agregati
- povećana potrošnja energije potrebne za miniranje stijena, kao i za transport do tvornice

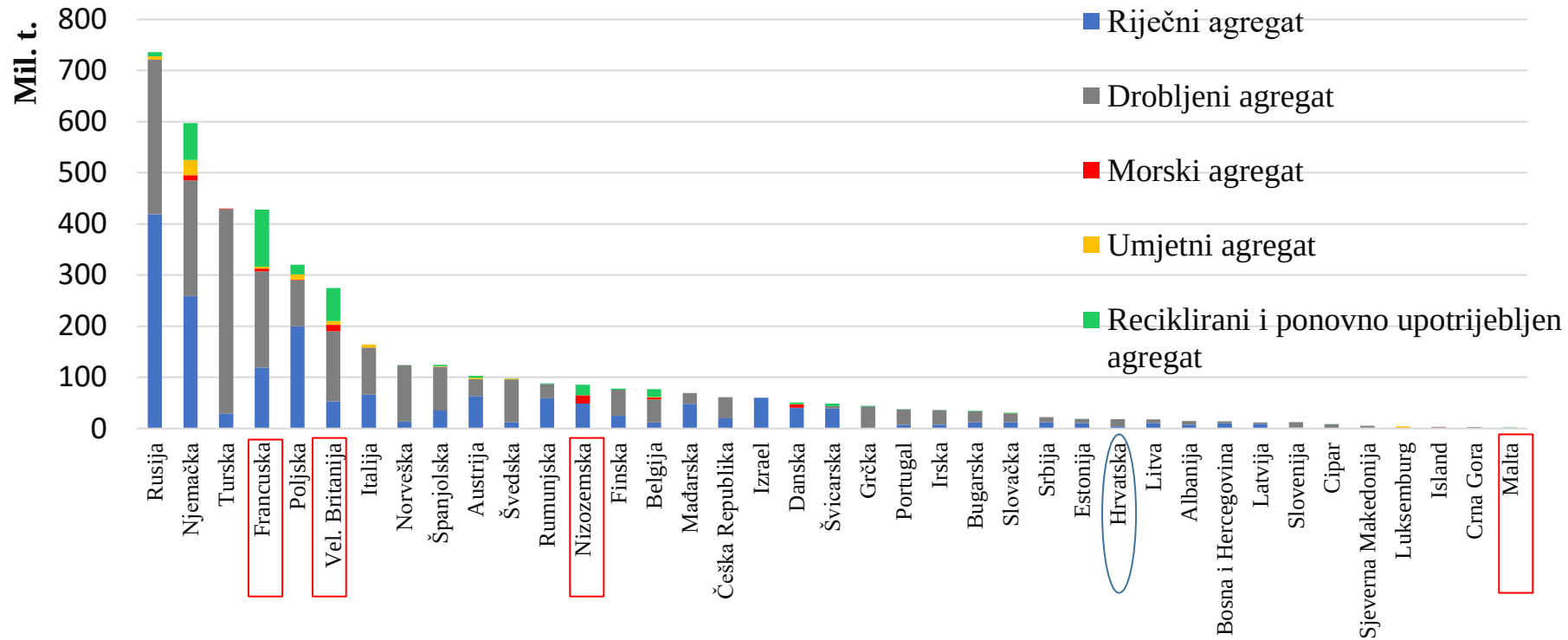




Godišnja upotreba građevinskih materijala za izgradnju zgrada u EU27,
prosjeak 2006. – 2010. (mil. tona)



Proizvodnja agregata



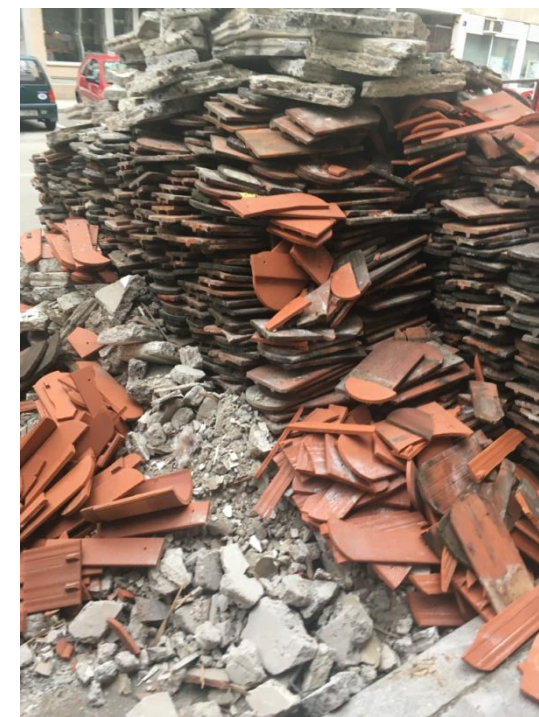
 više od 20 % nacionalnih potreba zadovoljavaju recikliranjem/ ponovnom uporabom

Proizvodnja agregata 2018. po državama i po vrstama (u milijunima tona)

izvor: Annual Review 2019-2020, EUROPEAN AGGREGATES ASSOCIATION

Građevni otpad

Ključni broj	Naziv otpada
17	Građevinski otpad i otpad od rušenja objekata (uključujući iskopanu zemlju s onečišćenih lokacija)
17 01	beton, cigle, crijep/pločice i keramika
17 02	drvo, staklo i plastika
17 03	mješavine bitumena, ugljeni katran i proizvodi koji sadrže katran
17 04	metali (uključujući njihove legure)
17 05	zemlja (uključujući iskopanu zemlju s onečišćenih lokacija), kamenje i otpad od jaružanja
17 06	izolacijski materijali i građevinski materijali koji sadrži azbest
17 08	građevinski materijal na bazi gipsa
17 09	ostali građevinski otpad i otpad od rušenja objekata



NEOPASNI MINERALNI GRAĐEVNI OTPAD

Ključni broj	Naziv otpada
17 01 01	beton
17 01 02	opeka
17 01 03	crijep/pločice i keramika
17 01 07	mješavine betona, cigle, crijepa/pločica i keramike koje nisu navedene pod 17 01 06*
17 02 02	staklo
17 05 04	zemlja i kamenje koji nisu navedeni pod 17 05 03
17 05 06	iskopana zemlja koja nije navedena pod 17 05 05
17 05 08	kamen tučenac za nasipavanje pruge koji nije naveden pod 17 05 07*
17 08 02	građevinski materijali na bazi gipsa koji nisu navedeni pod 17 08 01*
17 09 04	miješani građevni otpad i otpad od rušenja objekata, koji nije naveden pod 17 09 01*, 17 09 02* i 17 09 03*
19 12 05	staklo - ako je nastalo obradom građevnog otpada
19 12 09	minerali (npr. pijesak, kamenje) - ako su nastali obradom građevnog otpada

Građevni otpad u RH



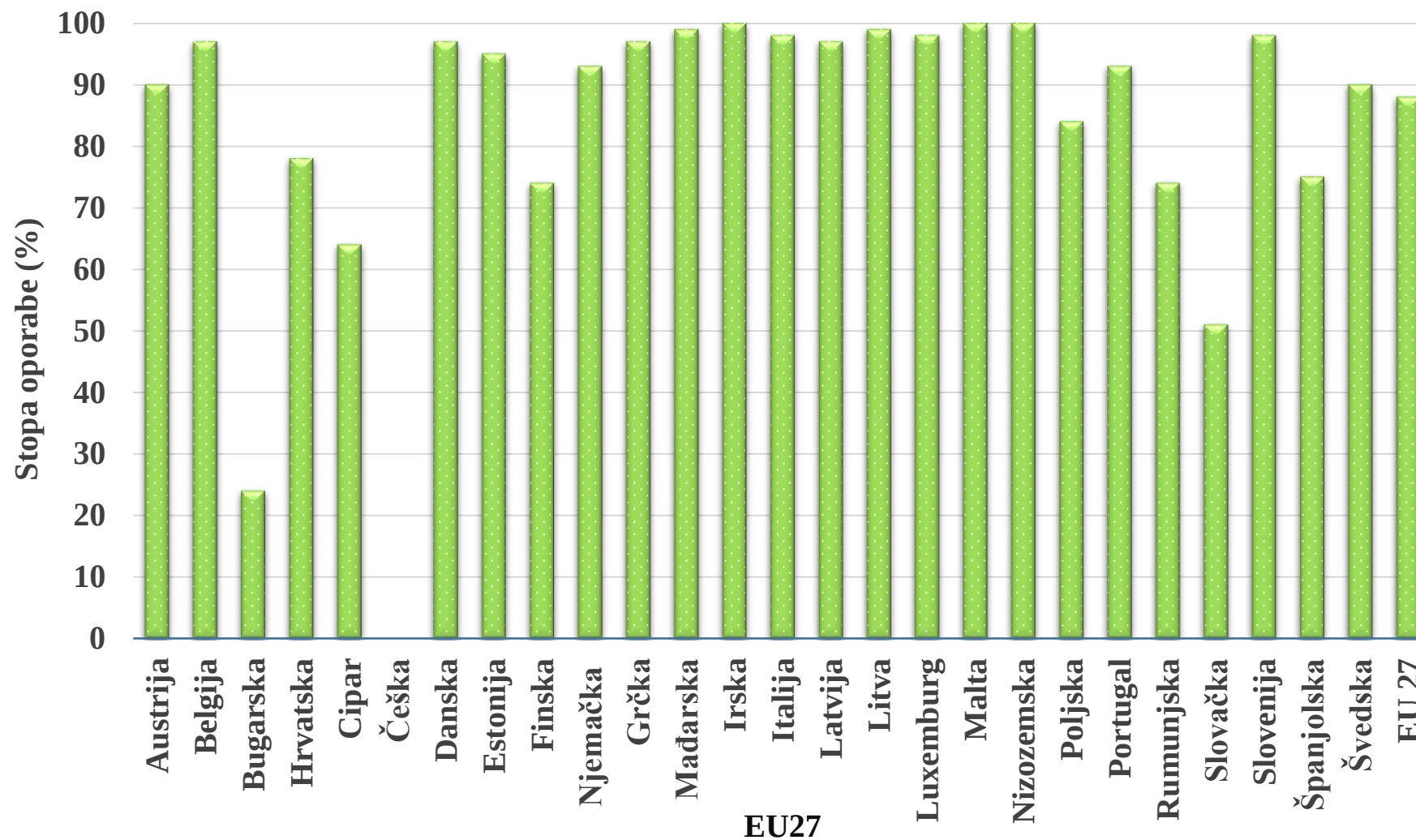
reciklirani beton

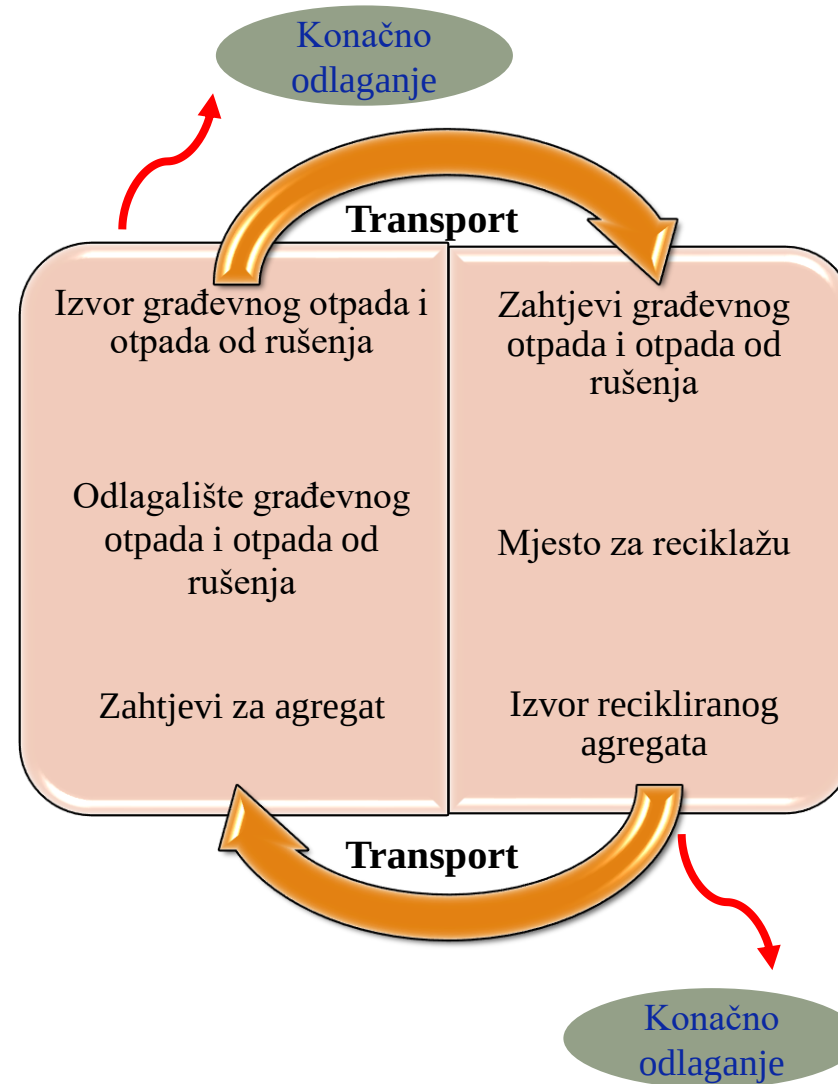


mješavine
betona, cigle,
crijepa/pločica i
keramike

- **ukupna količina građevnog otpada procijenjena na ~1,5 mil. t**
- **neopasni mineralni otpad ~ 40 %**
- **veliki udio miješanog otpada**

Stopa uporabe građevnog otpada i otpada od rušenja, EU27





Gospodarenje građevnim otpadom u Nizozemskoj

- **recikliranje od 1980.-ih**
- razvijena hijerarhija otpada – zabrana odlaganja
- nacionalni plan za građevni otpad
- nakon zabrane nasipavanja miješanog građevnog otpada pokrenuta **postrojenja za razvrstavanje**

Gospodarenje građevnim otpadom u Nizozemskoj

- U postrojenjima se provodi **oporaba drva, metala, plastike i inertnih materijala**
- Preostala frakcija dijelom se koristi za proizvodnju sekundarnog goriva
- Velika primjena recikliranih agregata u proizvodnji betona
- Recikliranje asfalta

Gospodarenje građevnim otpadom u Nizozemskoj

Ostali materijali koji se sve više recikliraju:

- **Ravno staklo** – može se **besplatno** odnijeti na skupljališta (pokrenula industrija stakla)
- **Prozori od PVC-a** – postoji sustav za skupljanje, **besplatno**
- **Gips: sklopljen sporazum** između vlade i industrije da Nizozemska postane vodeća u recikliranju gipsa
- **Cijevi od PVC-a**: jedan operater razvio je postupak recikliranja
- **Bitumenske krovne ploče**: mogu se oporabiti i preraditi te dijelom upotrijebiti u novim krovnim konstrukcijama i asfaltu

Recikliranje i ponovna uporaba mineralne vune

- Može se reciklirati u nove proizvode od mineralne vune i koristiti kao sirovina za npr. opeku i stropne ploče
- Sadašnja proizvodnja mineralne vune nastale uklanjanjem građevina prilično je mala, ali se očekuje povećanje u budućnosti



Norme za reciklirano drvo

Proizvođači više od 15 godina primjenjuju industrijske norme za upotrebu recikliranog drva u proizvodnji drvnih ploča

- kvaliteta i kemijsko onečišćenje, razredi neprihvatljivih materijala, referentne metode uzorkovanja i ispitivanja

*Izvor: Europski savez proizvođača ploča (EPF), 2016.,
www.europanel.org*



<https://www.epa.gov/large-scale-residential-demolition/reuse-and-recycling-opportunities-and-demolition>

Recikliranje drva u drvne ploče

Ploče iverice (u 2014. potrošeno 18,5 mil. tona drvne sirovine)

- Prosječni udio oporabljenog drva – 32 %
- Mali udio građevnog otpada u frakciji oporabljenog drva za proizvodnju ploča
- Poticati odvajanje na mjestu nastanka i skupljanje s lokacija izgradnje ili rušenja



Recikliranje PVC-a

- Cijevi/fazonski komadi, prozorski okviri
- Spojevi PVC-a mogu se lako fizički, kemijski ili energetski reciklirati
- Mehaničko odvajanje, mljevenje, pranje, obrada
- PVC se reciklira u nove prozorske okvire i razvija se tehnologija za recikliranje cijevi od PVC-a u nove cijevi



Mogućnosti primjene

Materijal	Tržište
Opeka	Velika mogućnost ponovne uporabe, primjena u proizvodnji agregata i betona
Beton	Proizvodnja agregata i betona
Asfalt	Proizvodnja novog asfalta
Metali	Proizvodnja novih metala
Drvo	Moguća ponovna primjena ako nije tretirano, inače spaljivanje
Gipsane ploče	Postoji mogućnost uporabe, nije razvijeno tržište

Biomasa

- udio energije iz OIE u ukupnoj konačnoj bruto potrošnji **najmanje 32 % do 2030.** godine (Direktiva 2018/2001/EU)
 - klimatska neutralnost do 2050. godine – OIE će morati opskrbljivati većinu potrošnje energije – **biomasa će imati presudnu ulogu u postizanju tih ciljeva**, osobito energane na krutu i plinovitu biomasu (Direktiva 2008/98/EC)
-
- **BIOMASA** → **najveći pojedinačni OIE u Europi** i čini gotovo **60 %** u ukupnoj konačnoj potrošnji obnovljive energije

PEPEO DRVNE BIOMASE (PDB)

- **PDB** je neizgorivi kruti ostatak koji nastaje nakon potpunog izgaranja drvne biomase i koji sadrži najveći dio mineralnih frakcija koje potječu iz biomase
- **PDB** je kompleksna mješavina anorganskog i organskog sastava



PDB s dna peći



Leteći PDB
finije frakcije

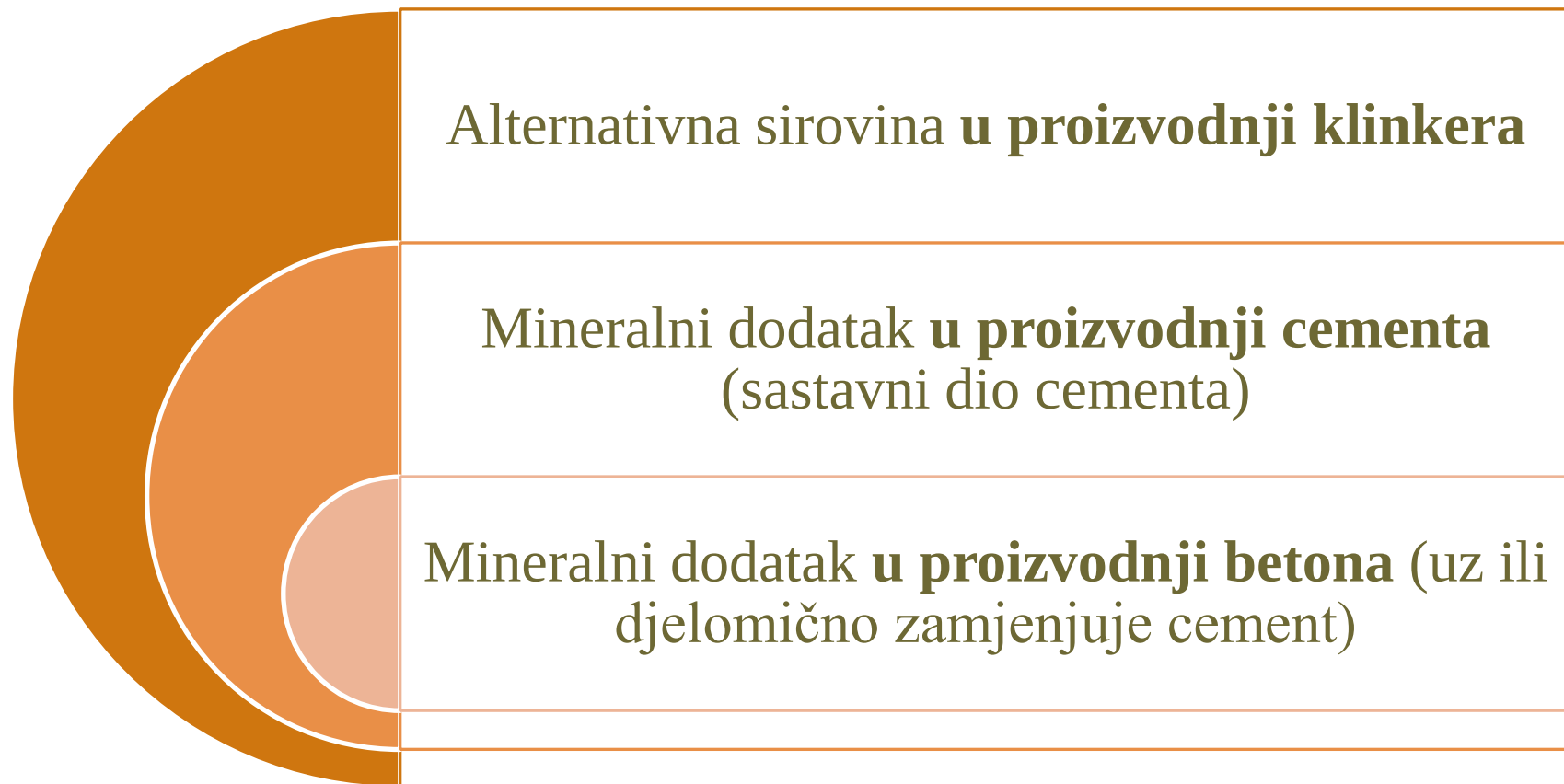


Leteći PDB
krupnije frakcije

- Biopepeo → „Otpad iz termičkih procesa“ pod ključnim brojem 10 u Pravilniku o katalogu otpada (NN 90/15), odnosno 10 01 otpad iz termoelektrana i ostalih postrojenja u kojima se odvija sagorijevanje (osim 19)
- Procjenjuje se da će u EU primjena energije iz energana na drvenu biomasu u budućnosti utjecati na proizvodnju od približno 600.000 tona biopepela

Procjena godišnje potrošnje drvene biomase	3,1 % udjela pepela (na osnovi provedenih anketa)
819.820 t/godišnje	25.414 t/god
s obzirom na instaliranu snagu postrojenja od 56,709 Mwe u listopadu 2018.	
1.240.709 t/godišnje	38.461 t/god
s obzirom na ukupnu snagu postrojenja s kojima je Hrvatski operater tržišta energije (HROTE) sklopio ugovor o otkupu električne energije do veljače 2016. od 85,823 Mwe - procjena se zasniva na provedenim anketama	
1.530.000 t/godišnje	47.430 t/god
S obzirom na ukupni potencijal drvene biomase u Hrvatskoj	

PRIMJENA PDB-a U BETONSKOJ I CEMENTNOJ INDUSTRIJI



„Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela”

- Provedba projekta: 1.2.2019. – 1.2.2023.
- Korisnik: Beton Lučko RBG d.o.o.
- Partner: Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

Faze istraživanja i razvoja

Industrijsko
istraživanje

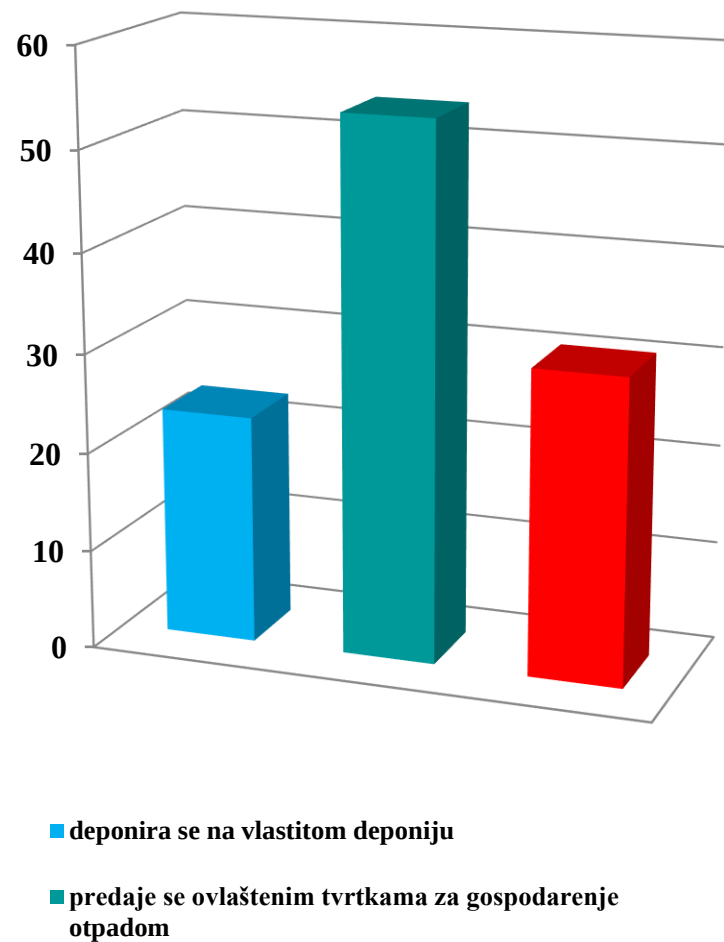
Eksperimentalni
razvoj



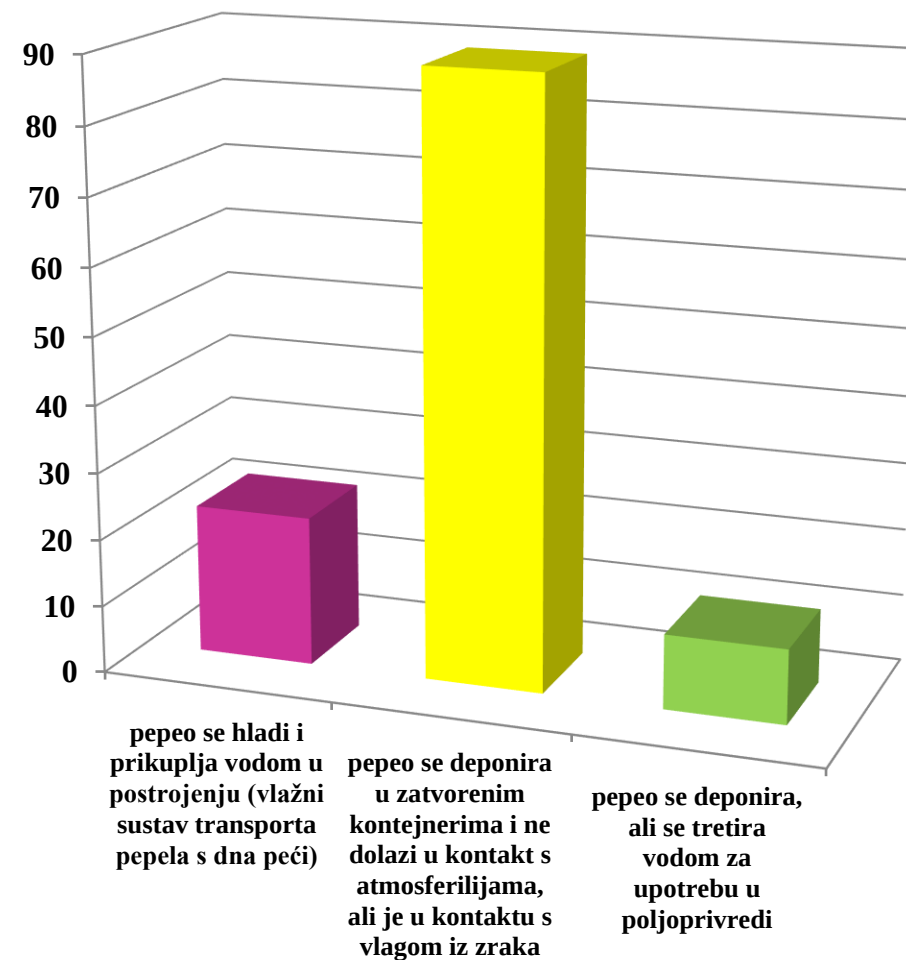


Drvena biomasa iz 9 postrojenja u Republici Hrvatskoj – a) Bjelovar; b) Benkovac; c) Fužine; d) Vukovar; e) Grubišno Polje; f) Glina g) Vinkovci; h) Požega; i) Zagreb

Gospodarenje biopepelom



Skladištenje biopepela



Ispitivanja SVJEŽEG lijevanog betona	
Svojstva lijevanog betona u svježem stanju	Norma
Konzistencija slijevanjem - Slump test	HRN EN 12350 - 2: 2019
Gustoća	HRN EN 12350 - 6: 2019
Temperatura	HRN EN 12350 - 1: 2019
Udio pora	HRN EN 12350 - 7: 2019

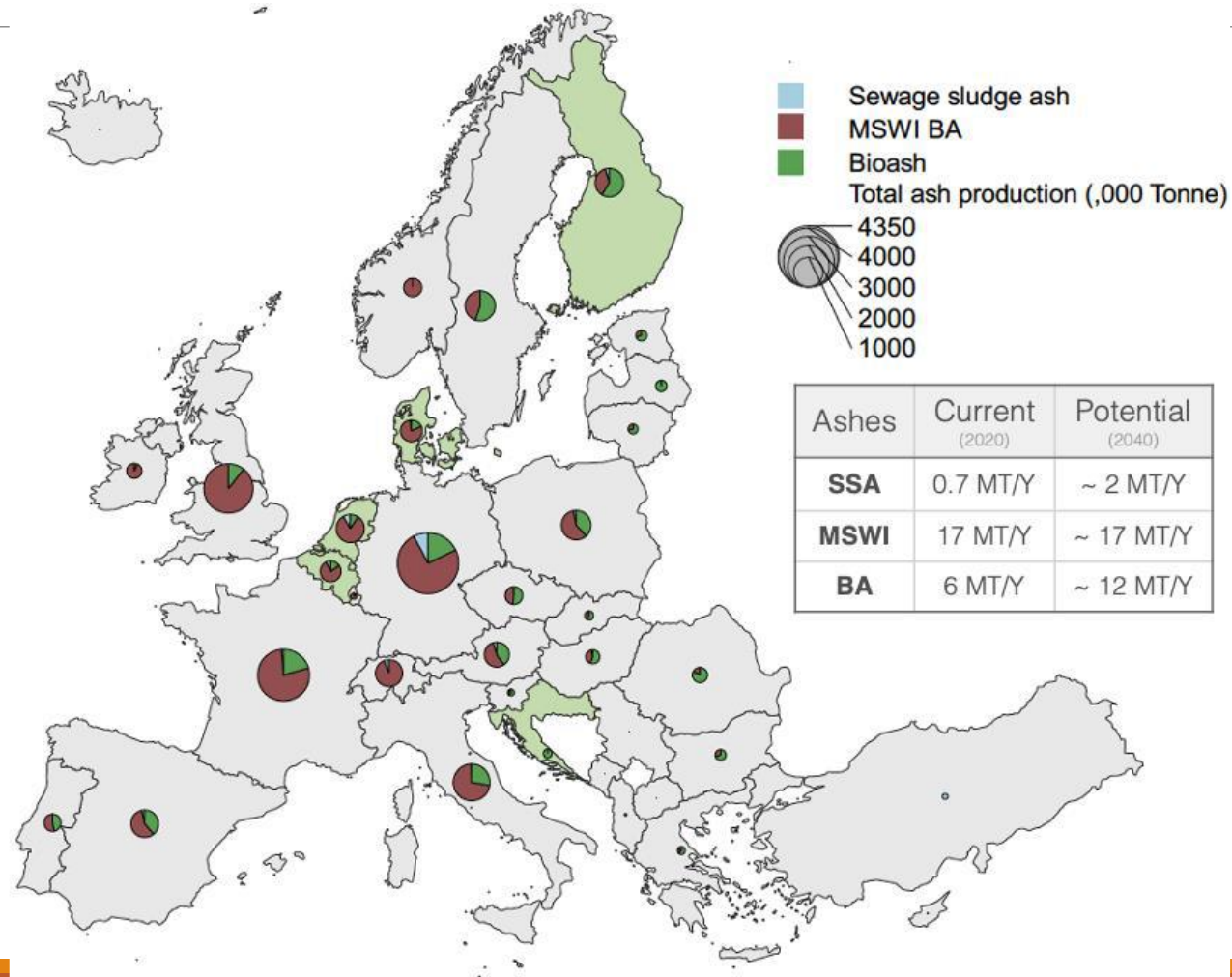
Razred određen slijevanjem (mm) – razredi konzistencije	
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220



Ispitivanja OČVRSNULOG lijevanog betona				
Svojstvo	Metoda ispitivanja	Dimenzije uzorka (cm)	Starost (dani)	Broj uzoraka (kom)
Tlačna čvrstoća	HRN EN 12390-3:2019; HRN EN 12930-3:2009/Ispr.1:2012	15×15×15	1	3
			28	3
Kapilarno upijanje	HRN EN 13057:2003	ispiljeni uzorak 10×10×5	28	4
Upijanje vode	HRN EN 1340:2004; HRN EN 1340:2004/AC:2007	ispiljeni uzorak (2,5 kg < mIU < 5 kg)	28	3
Vodopropusnost - dubina prodiranja vode pod pritiskom	HRN EN 12390-8:2019	15×15×15	28	3
Otpornost na djelovanje mraza i soli (56 ciklusa)	HRS CEN/TS 12390-9:2016	15×15×15	28	4
Procjena otpuštanja opasnih tvari (izluživanje teških metala)	HRS CEN/TS 16637-2	ispiljeni uzorak (0,6 kg < mIU)	28(+64 dana)	1



HORIZON projekt AshCycle



Zaključak

Osigurati kapacitete za recikliranje

Poticati recikliranje i ponovnu uporabu

Veliki potencijal primjene različitih vrsta pepela u industriji betona

Razmotriti korištenje različitih lokalno dostupnih sekundarnih i recikliranih materijala

HVALA NA
POZORNOSTI!