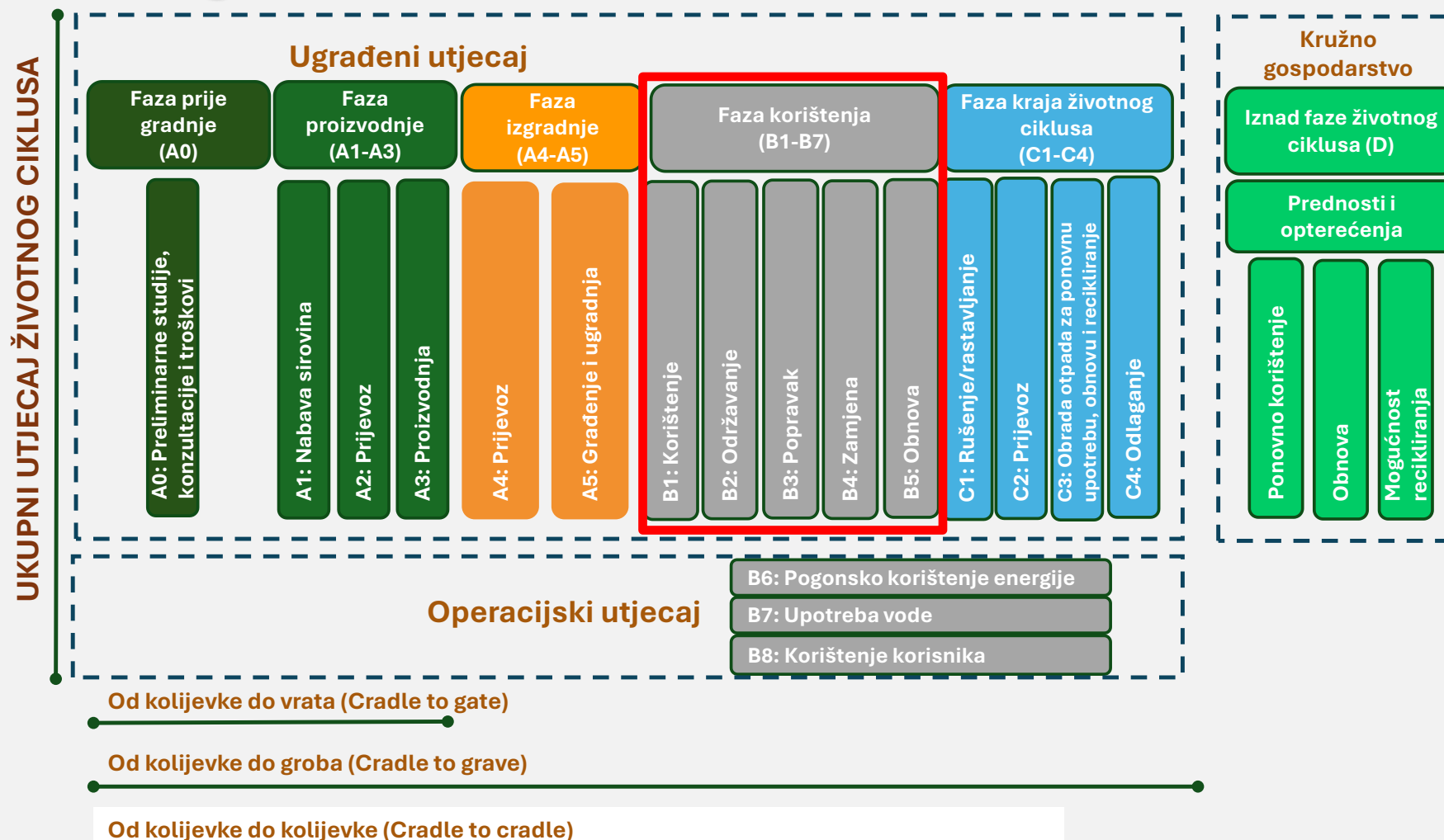


Principi održivosti tijekom održavanja i korištenja – faza B

Marijana Serdar i Ivana Carević
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet
Zavod za materijale



Životni ciklus građevine



Izvor: HRN EN 15643:2021 Održivost građevina - Okvir za ocjenjivanje zgrada i inženjerskih građevina

Važnost faze korištenja

- Faza korištenja i održavanja zgrade je najdugovječnija faza - uključuje održavanje, popravak i obnovu
- Povezana je s potrošnjom vode, energije te emisijom plinova kao posljedicom potrošnje energije iz fosilnih goriva



Emisije u vanjsko okruženje građevina (7.)

Građevine i svi njihovi dijelovi moraju biti projektirani, izgrađeni, upotrijebljeni, održavani i rastavljeni ili uklonjeni tako da tijekom svojeg životnog ciklusa ne predstavljaju rizik za vanjsko okruženje, kao rezultat sljedećeg:

- (a) otpuštanja opasnih tvari, mikroplastike ili zračenja u zrak, podzemne vode, morske vode, površinske vode ili tlo (**LCA**);
- (b) pogrešnog ispuštanja otpadnih voda, emisije dimovodnih plinova ili pogrešnog zbrinjavanja krutog ili tekućeg otpada u vanjskom okruženju (**upravljanje sustavima otpadnih voda, odlaganje otpada**);
- (c) oštećenja zgrade, uključujući oštećenje zbog prijenosa zagađivača vodom u temelje zgrade (**trajnost**);
- (d) ispuštanja emisija stakleničkih plinova u atmosferu (**energija, LCA**)



Održiva uporaba prirodnih izvora (8.)

Građevine moraju biti projektirane, izgrađene i uklonjene tako da je uporaba prirodnih izvora održiva, a posebno moraju zajamčiti sljedeće:

- ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine, njezinih materijala i dijelova nakon uklanjanja,
- **trajnost građevine,**
- uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala u građevinama.

FAZA B

Građevine i svi njihovi dijelovi moraju biti projektirani, izgrađeni, upotrijebljeni, održavani i rastavljeni ili uklonjeni tako da tijekom njihova životnog ciklusa upotreba prirodnih izvora bude održiva i osigurava sljedeće:

FAZA B

- što veće povećanje resursno učinkovite uporabe sirovina i sekundarnih materijala visoke okolišne održivosti;
- **što veće smanjenje ukupne količine upotrijebljenih sirovina;**
- što veće smanjenje ukupne količine ugrađene energije;
- **što veće smanjenje nastalog otpada;**
- **što veće smanjenje ukupne uporabe pitke i sanitarne vode;**
- što veće povećanje ponovne uporabe ili mogućnosti recikliranja građevine, djelomično ili u cijelosti, te njezinih materijala nakon rastavljanja ili uklanjanja;
- jednostavnost rastavljanja.

Principi održivosti tijekom održavanja i korištenja – faza B

- Korištenje
 - Emisije u vanjsko okruženje građevina
 - Otpuštanje opasnih tvari
 - Zračenje
 - Skladištenje CO₂ u materijalima



Principi održivosti tijekom održavanja i korištenja – faza B

- Trajnost građevine
 - Projektiranje na osnovi svojstava vs preskriptivno projektiranje
 - Proaktivno vs reaktivno održavanje
- Utjecaj cjelovite obnove na okoliš

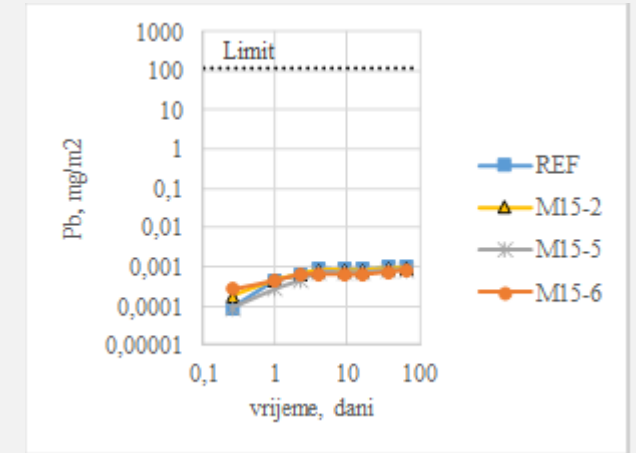
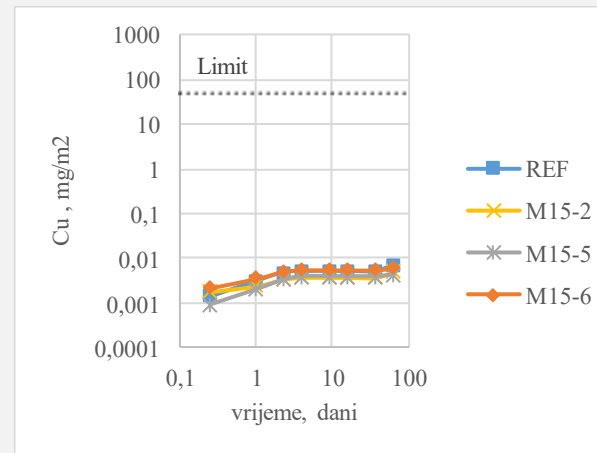
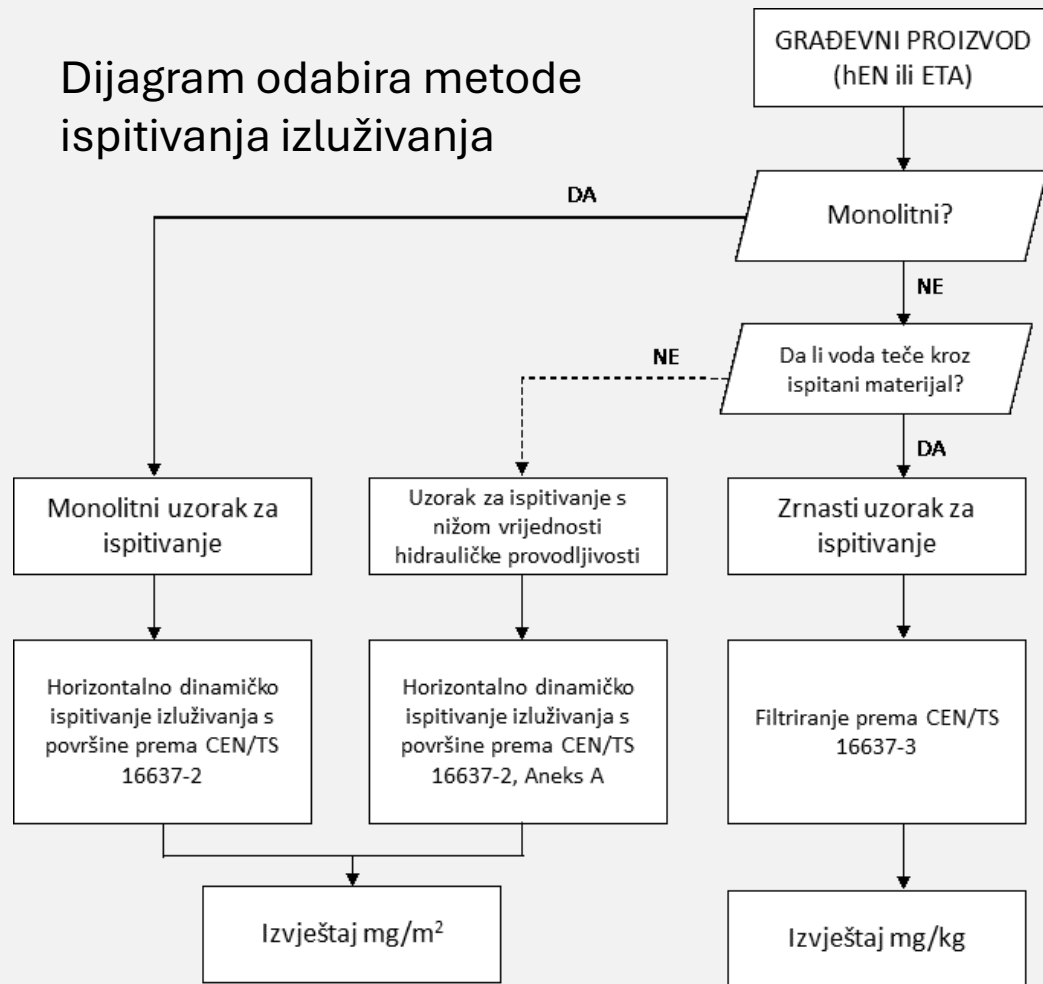


Emisije u vanjsko okruženje građevina



Otpuštanje opasnih tvari – faza B

Dijagram odabira metode ispitivanja izluživanja



Nizozemska kao primjer

Otpuštanje opasnih tvari – faza B

Kvaliteta zraka u prostoru

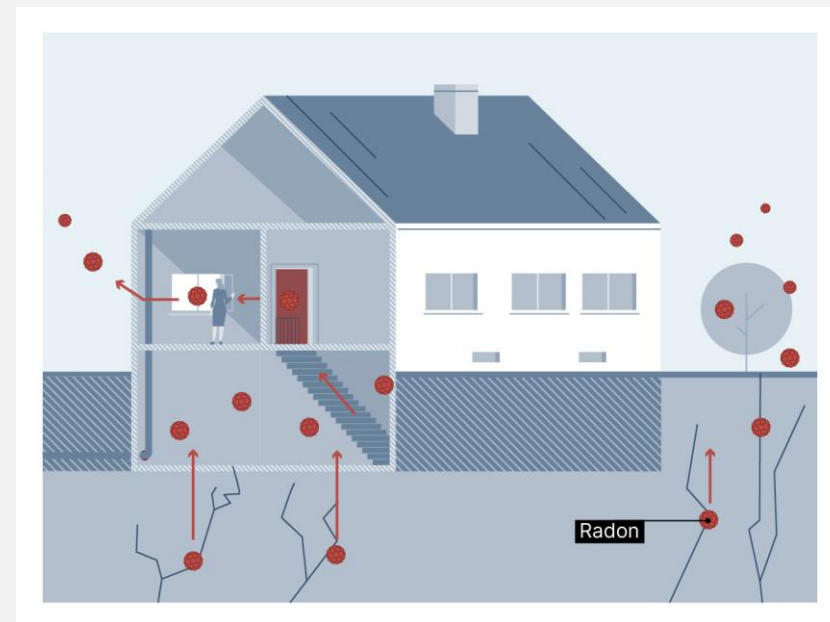
VOC (engl. Volatile Organic Compounds), hlapljivi organske spojevi

- Benzen, toluen, ksilen, formaldehid, etanol, acetone, heksan itd. (boje, lakovi, ljepila, otapala, namještaj, izolacija, ...)
- iritacije, glavobolja, vrtoglavica, toksični i kancerogeni učinci
- LCA i/ili ispitivanje (DGNB sustav certificiranja)

EN ISO 16000-11:2024 Zrak u zatvorenom prostoru -- 11. dio: Određivanje emisije hlapljivih organskih spojeva iz građevnih proizvoda i proizvoda za namještanje prostora -- Uzorkovanje, čuvanje uzoraka i priprema ispitnih uzoraka

Radijacija ili zračenje

- Radon je radioaktivni plin kojeg ne možemo vidjeti, namirisati ili okusiti – za njegovu je detekciju i mjerenje potrebna posebna oprema
- Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada – Zavod za zaštitu od zračenja - jedina ustanova u RH ovlaštena za ispitivanje koncentracije radona i radonovih potomaka u zraku (<https://civilna-zastita.gov.hr/ovlasteni-strucni-tehnicki-servisi/127>).
- Mjerenja radona u tvrtkama i stambenim zgradama uglavnom se provode pasivnim detektorima nuklearnih tragova



https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/ Pools/Broschueren/radonmassnahmenplan_en_bf.pdf

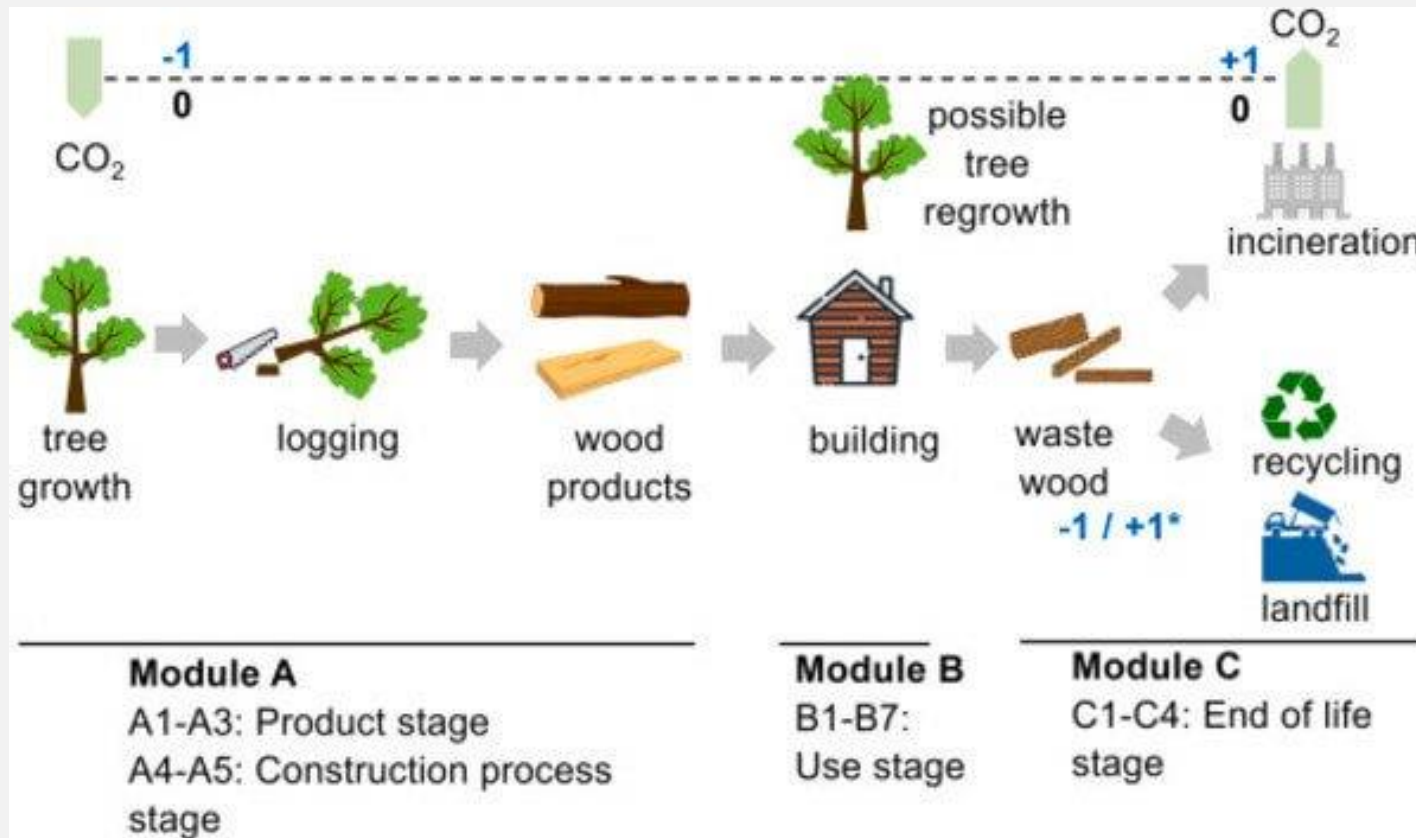
Koncentracija aktivnosti radionuklida

Radionuklidi	Koncentracija aktivnosti (Bqkg ⁻¹)		
	Crveni mulj	Leteći pepeo	Cement
²²⁶ Ra	(1,381±0,014)E+2	(4,630±0,072)E+1	(2,003±0,025)E+1
²³² Th	(3,251±0,036)E+2	(3,261±0,151)E+1	(1,052±0,073)E+1
⁴⁰ K	< (1,250±0,036)E+1	(3,739±0,086)E+2	(2,142±0,048)E+2

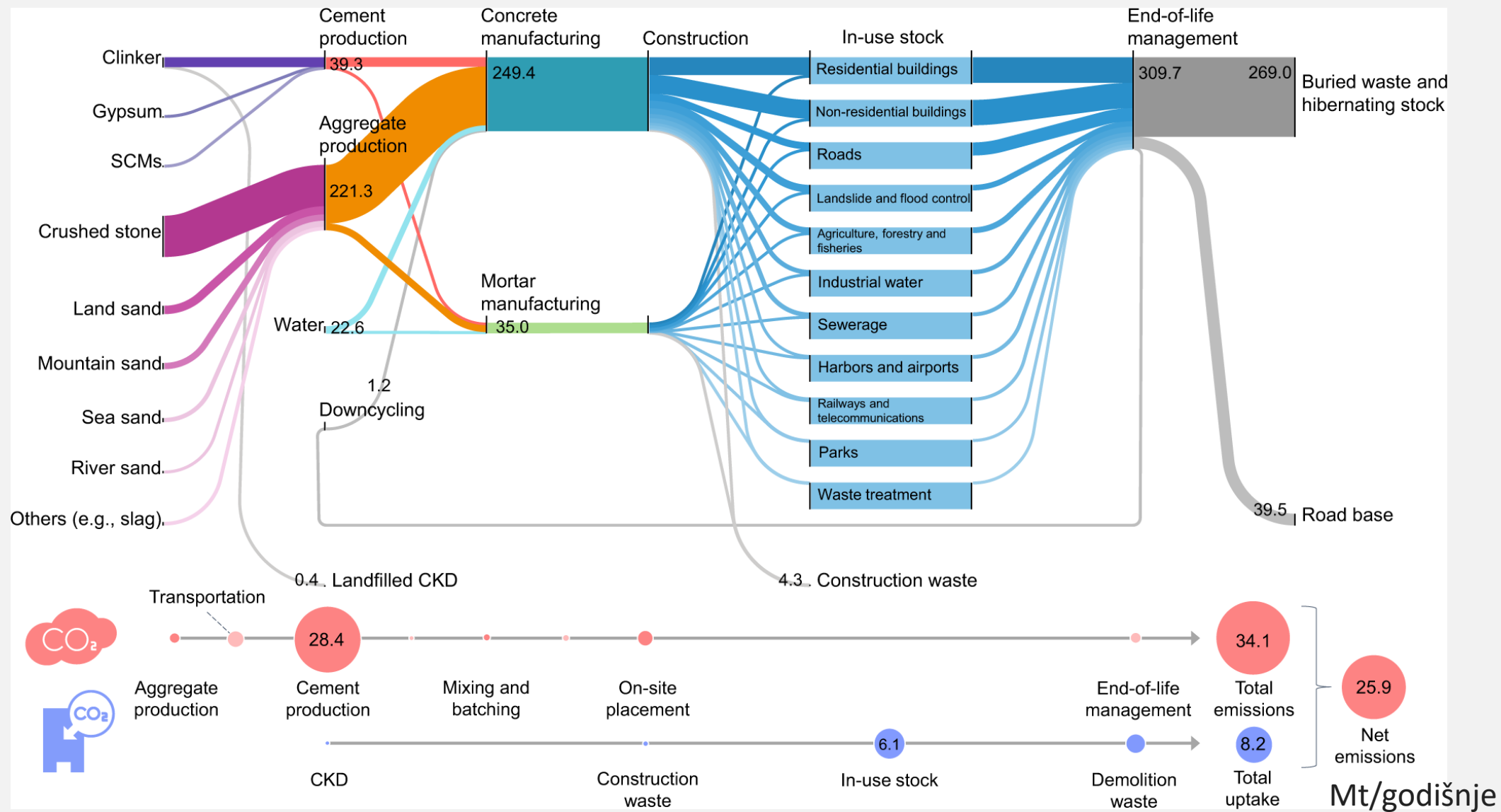
- Građevni materijali prirodnog porijekla – sadrže određenu količinu radionuklida
- Količina radionuklida ovisi o porijeklu i naćiu obrade

Skladištenje CO₂ u materijalima





How Reclaimed Wood Helps Reduce CO₂ Emissions — Kaltimber - Timber merchant - Flooring shop



Watari, T., Cao, Z., Hata, S. *et al.* Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions. *Nat Commun* **13**, 4158 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31806-2>

Primjeri

orbix



CO₂Mpensatie
steen



Projektiranje na osnovi svojstava vs preskriptivno projektiranje



Trajnost građevina - održivost



Cestius pyramid (12 BC)

Trajnost građevina - održivost



Djenne, Mali (1200)

Trajnost građevina - održivost



Razredi izloženosti - betonske konstrukcije

Razred izloženosti	Opis okoliša	Podrazredi
X0	Nema rizika korozije	-
XC	Korozija uzrokovana karbonatizacijom	XC1, XC2, XC3, XC4
XD	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora	XD1, XD2, XD3
XS	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode	XS1, XS2, XS3
XF	Korozija uzrokovana smrzavanjem i odmrzavanjem sa soli za odmrzavanje ili bez njih	XF1, XF2, XF3, XF4
XA	Kemijska korozija	XA1, XA2, XA3
XM	Beton izložen habanju	XM1, XM2, XM3

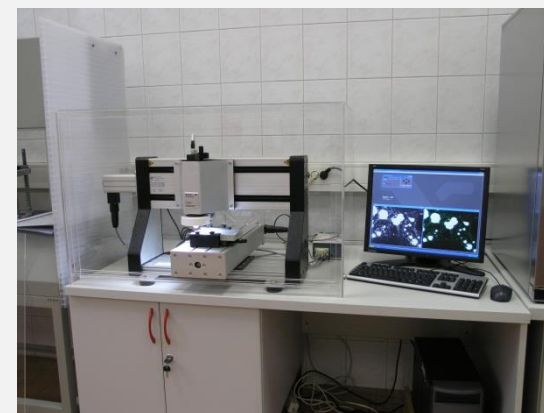
INDIKATORI TRAJNOSTI

- Kao indikatori propusnosti/trajnosti mogu se koristiti metode:
 - Ispitivanja koeficijenta difuzije/migracije
 - Ispitivanja vodonepropusnosti
 - Mjerenja kapilarnog upijanja
 - Mjerenja električne otpornosti/vodljivosti betona



Smrzavanje – indikator trajnosti

Razred	Kriterij	Norma
XF1	28 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 25%	HRN CEN/TR 15177
XF2	28 ciklusa $D_m \leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ prosječno $D_m \leq 1.0 \text{ kg/m}^2$ pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9
XF3	56 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 15%	HRN CEN/TR 15177
XF4	56 ciklusa $D_m \leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ prosječno $D_m \leq 1.0 \text{ kg/m}^2$ pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9



- Faktor razmaka pora - manji od 0,2 mm

Karbonatizacija – plinopropusnost - laboratorij

- Mjeri se protok plina na izlazu iz uzorka, i na temelju dobivenih rezultata proračunava se koeficijent plinopropusnosti
- Ispituje se prema preporukama Cembureau (RILEM TC 116 - PCD)



$$K = \frac{2Q \eta L}{A} \frac{2p_a}{(p^2 - p_a^2)}$$

K - koeficijent plinopropusnosti [m²],
Q - protok plina [m³/s],
η - viskoznost plina [Pa/s],
L - debljina uzorka [m],
A - presjek uzorka [m²],
p - ulazni pritisak [Pa],
p_a - izlazni pritisak [Pa].

Karbonatizacija – plinopropusnost

- Mjerenje uređajima s dvostrukom komorom
- Uspostavljanje podtlaka vakuumskom pumpom
- Automatizirano prikupljanje rasta tlaka unutar unutarnje komore



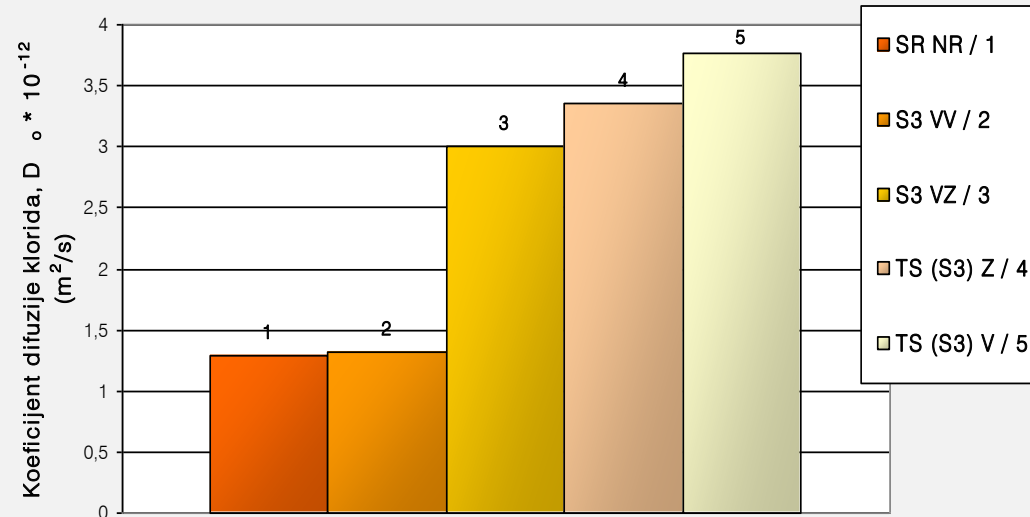
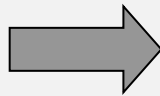
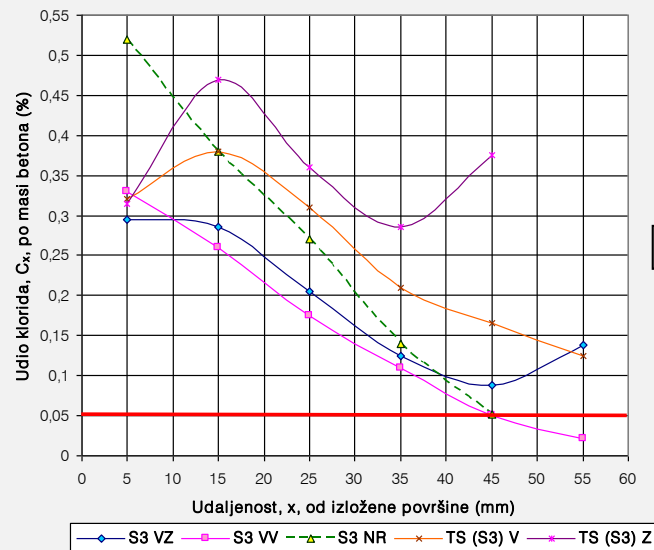
Korozija uslijed klorida - koeficijent difuzije - laboratorij

- Ispitivanje količine klorida koji su prodrli kroz betonski uzorak:
 - pod djelovanjem vanjskog izvora struje - NT BUILD 492 ili ASTM C 1202
 - dugotrajnim izlaganjem otopini NaCl - NT BUILD 443



Koeficijent difuzije - teren

- Na terenu se koeficijent difuzije može izračunati iz profila klorida dobivenog kemijskom analizom količine klorida u betonskom prahu po dubini presjeka



$$C(x, t) = C_i + (C_s - C_i) \cdot \operatorname{erfc} \frac{x}{\sqrt{4 \cdot t \cdot D_{app}}}$$

Prodor klorida - preporuke

Koeficijent difuzije (m ² /s)	Otpornost betona
$< 2 \times 10^{-12}$	Jako dobra
$2 - 8 \times 10^{-12}$	Dobra
$8 - 16 \times 10^{-12}$	Zadovoljavajuća
$> 16 \times 10^{-12}$	Nezadovoljavajuća

Razred izloženosti	Zahtijevani uporabni vijek	
	Od 50 do 100 godina	Od 100 do 120 godina
X0 i XC1	$P_{aps} < 14 \%$	$P_{aps} < 12 \%$ $K_{plin} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC2	$P_{aps} < 14 \%$	$P_{aps} < 12 \%$ $K_{plin} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC3	$P_{aps} < 12 \%$ $K_{plin} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{aps} < 9 \%$ $K_{plin} < 10 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC4	$P_{aps} < 12 \%$ $K_{voda} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{aps} < 9 \%$ $K_{plin} < 10 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ $K_{voda} < 0,01 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XS1	$P_{aps} < 14 \%$	$P_{aps} < 12 \%$ $D_{app(mig)} < 20 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{voda} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XS2	$P_{aps} < 13 \%$ $D_{app(mig)} < 7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$P_{aps} < 12 \%$ $D_{app(mig)} < 5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
XS3	$P_{aps} < 11 \%$ $D_{app(mig)} < 3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{voda} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{aps} < 10 \%$ $D_{app(mig)} < 2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{plin} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ $K_{voda} < 0,05 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

Okolišna opterećenja na metalne konstrukcije (HRN EN 12500)

Korozivnost okoliša		Tipični okoliš
C ₁	Vrlo niska	Suha ili hladna područja, vrlo niski stupanj kontaminacije agresivnim tvarima, vrijeme močenja veoma kratko (npr. pustinje, Antartik)
C ₂	Niska	Umjerena područja, niski stupanj kontaminacije agresivnim tvarima (SO ₂ [μg/m ³] < 12). Suha ili hladna područja (npr. pustinje)
C ₃	Srednja	Umjerena područja, srednji stupanj kontaminacije agresivnim tvarima (12 < SO ₂ [μg/m ³] < 40); gradske sredine, obalna područja. Tropska područja niskom razinom zagađenja.
C ₄	Visoka	Umjerena područja, visok stupanj kontaminacije agresivnim tvarima (40 < SO ₂ [μg/m ³] < 80); gradske sredine, industrijska područja. Tropska područja sa srednjom razinom zagađenja.
C ₅	Veoma visoka	Umjerena područja, vrlo visok stupanj kontaminacije agresivnim tvarima (80 < SO ₂ [μg/m ³] < 250); industrijske zone, obalna područja. Tropska područja s vrlo visokom razinom zagađenja.

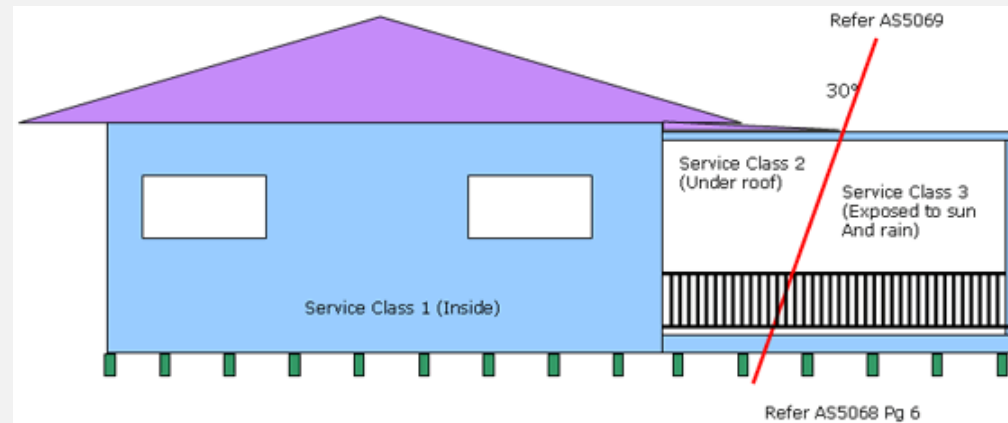
Uporabni vijek metala u različitim razredima okoliša

Korozivnost okoliša	Čelik (g/m ² god)	Bakar (g/m ² god)	Aluminij (g/m ² god)	Cink (g/m ² god)
C ₁	≤ 10	≤ 0,9	Zanemarivo	≤ 0,7
C ₂	11 - 200	0,9 – 5	0,6 – 2	0,7 – 5
C ₃	201 – 400	5 – 12	0,6 – 2	5 – 15
C ₄	401 – 650	12 – 25	2 – 5	15 – 30
C ₅	651 – 1500	25 – 50	5 – 10	30 - 60



Okolišna opterećenja na drvene konstrukcije (HRN EN 1995)

Razred okoliša	Temperatura u materijalu	Vlaga	Prosječna vlaga mekog drveta
1	$\leq 20^{\circ}\text{C}$	> 65 % samo par tjedana godišnje	12%
2	$\leq 20^{\circ}\text{C}$	> 85 % samo par tjedana godišnje	20%
3	-	sve iznad razreda 2	-



Okolišna opterećenja na drvene konstrukcije (HRN EN 335)

Razred	Opis razreda	Rizik	Primjer
0	Vlažnost drva ispod 10%	-	podovi, namještaj
1	Vlažnost drva ispod 20%, prosječna relativna vlaga ispod 70%, unutra	Insekti, termiti	krovnna konstrukcija
2	Vlažnost drva povremeno iznad 20%, prosječna relativna vlaga ispod 70%; unutrašnjost ili ispod nadstrešnice, nije izloženo okolišu, ali postoji mogućnost kondenzacije vode	Gljivice, insekti, termiti	unutrašnji dijelovi prostora povišene vlažnosti, djelomično natkriveni vanjski prostori
3	Vlažnost drva često iznad 20%, izloženo kiši i sunčevom zračenju, nije u stalnom doticaju s tlom i/ili vodom	Gljivice, insekti, termiti	vanjski prostor bez nadstrešnice – balkoni, stepenište
4	Vlažnost drva uvijek iznad 20%, drvo stalno potpuno ili djelomično izloženo u doticaju s tlom i/ili vodom	Gljivice, insekti, termiti, lišajevi	piloti, potporni stupovi
5	Trajno ili redovito potopljeno u slanoj vodi	Insekti, gljivice, termite i bušaći	piloti, potporni stupovi

Okolišna opterećenja na drvene konstrukcije

Razred okoliša prema HRN EN 1995-1-1	Odgovarajući razred okoliša prema HRN EN 335:2012
1	Razred 1
2	Razred 1 Razred 2 u slučaju kada su elementi djelomično izloženi močenju, npr zbog kondenzacije
3	Razred 2 Razred 3 ili viši za vanjske prostore



Okolišna opterećenja na zidane konstrukcije (HRN EN 1996)

Razred okoliša	Mikro uvjeti
MX1	Suhi okoliš
MX2	Izloženo vlaženju ili močenju
MX2.1	Vlaženje, bez smrzavanja i odmrzavanja, bez izlaganja značajnoj količini sulfata i agresivnih kemijskih spojeva
MX2.2	Značajno močenje, bez smrzavanja i odmrzavanja, bez izlaganja značajnoj količini sulfata i agresivnih kemijskih spojeva
MX3	Izloženo vlaženju ili močenju uz smrzavanje i odmrzavanje
MX3.1	Izloženo vlaženju ili močenju i smrzavanju i odmrzavanju, ali bez izlaganja značajnoj količini sulfata i agresivnih kemijskih spojeva
MX3.2	Izloženo značajnom močenju i smrzavanju i odmrzavanju, ali bez izlaganja značajnoj količini sulfata i agresivnih kemijskih spojeva
MX4	Izloženo zraku zasićenom solima, morskoj vodi ili solima za odmrzavanje
MX5	Kemijski agresivan okoliš

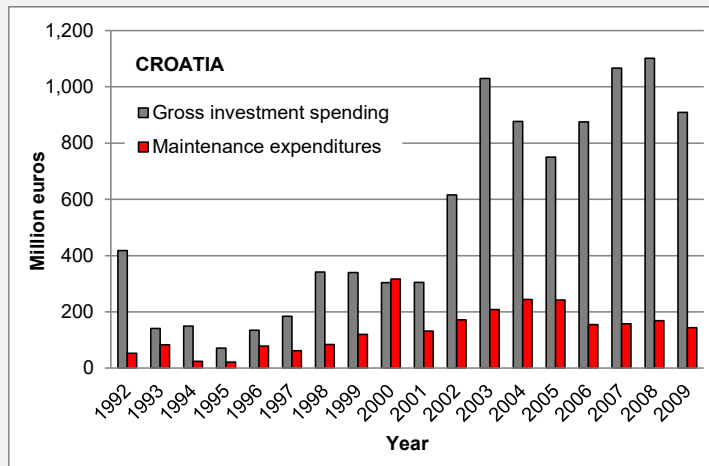
Proaktivno vs reaktivno održavanje



Važnost proaktivnog u odnosu na reaktivno održavanje

Praćenje i održavanje građevina nije plansko, veliki troškovi, nekontrolirano propadanje.

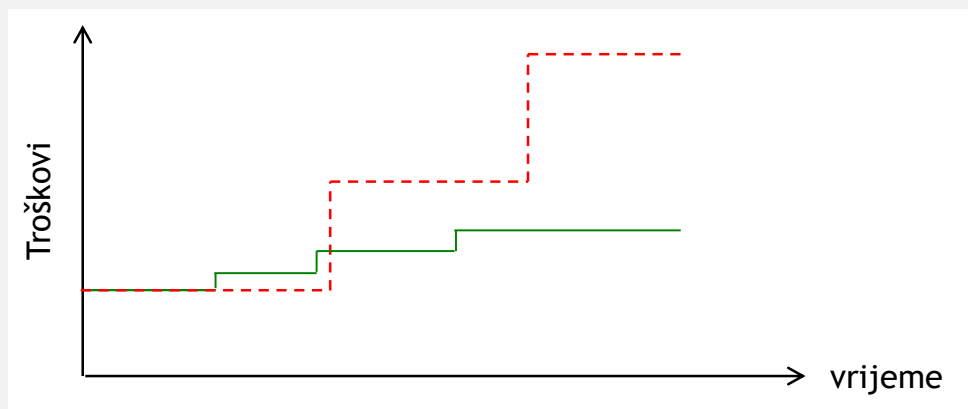
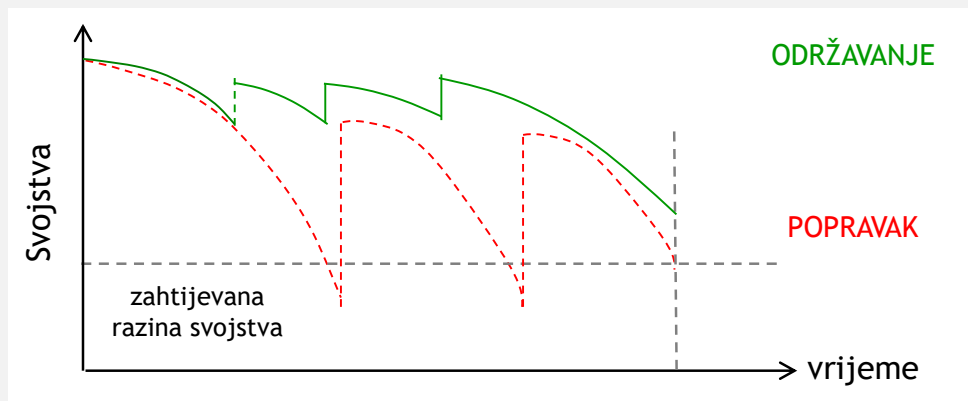
Nužno proaktivno umjesto reaktivno održavanje.



Izvor: <http://www.internationaltransportforum.org/>



Važnost proaktivnog u odnosu na reaktivno održavanje



Utjecaj cjelovite obnove na okoliš

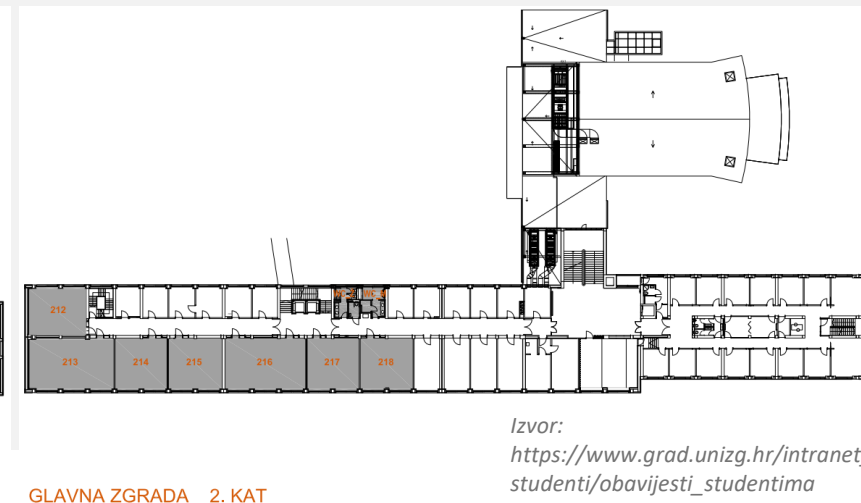
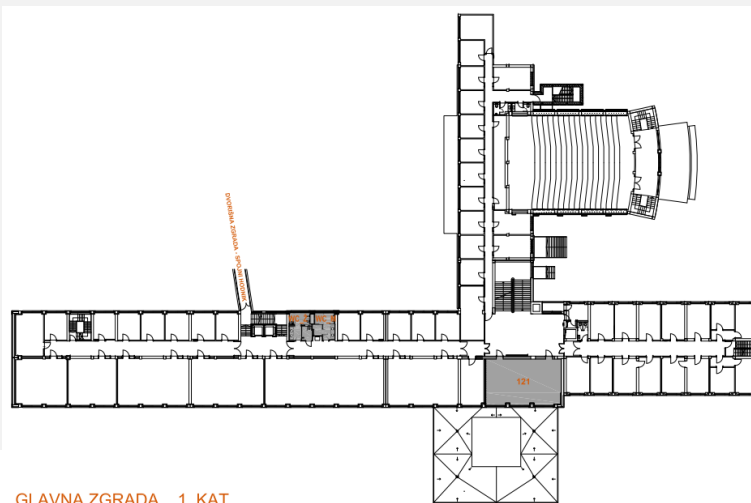
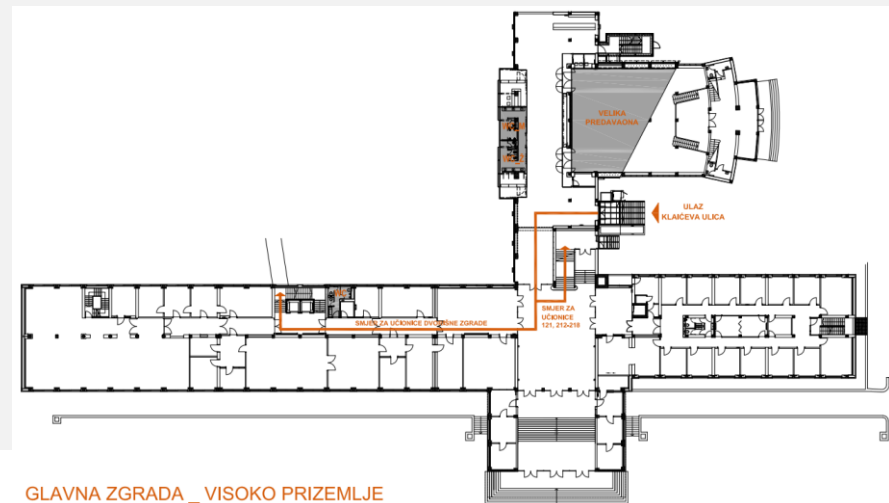


Glavna zgrada AGG fakulteta

- Fra Andrije Kačića Miošića 26
- tlocrtna bruto površina: 16651 m²
- etaže: suteren, visoko prizemlje, 4 kata, potkrovlje
- AB okvirni sustav, AB jezgre
- nužna provedba konstruktivnog ojačanja

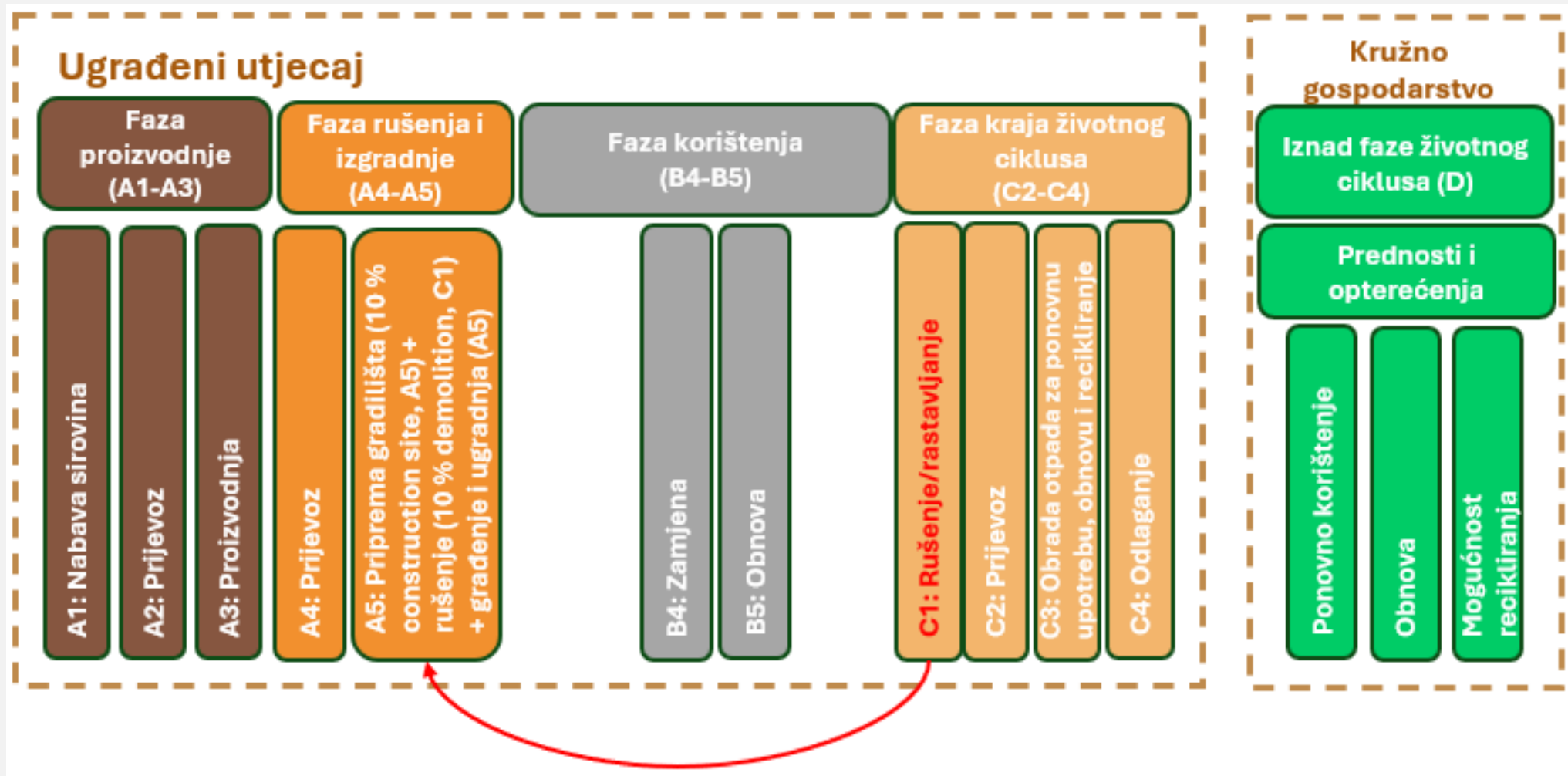


Izvor: <https://www.arhitektura-zagreba.com/zgrade/kaciceva-26>



Izvor:
https://www.grad.unizg.hr/intranet-studenti/obavijesti_studentima

Procjena životnog ciklusa - obnova



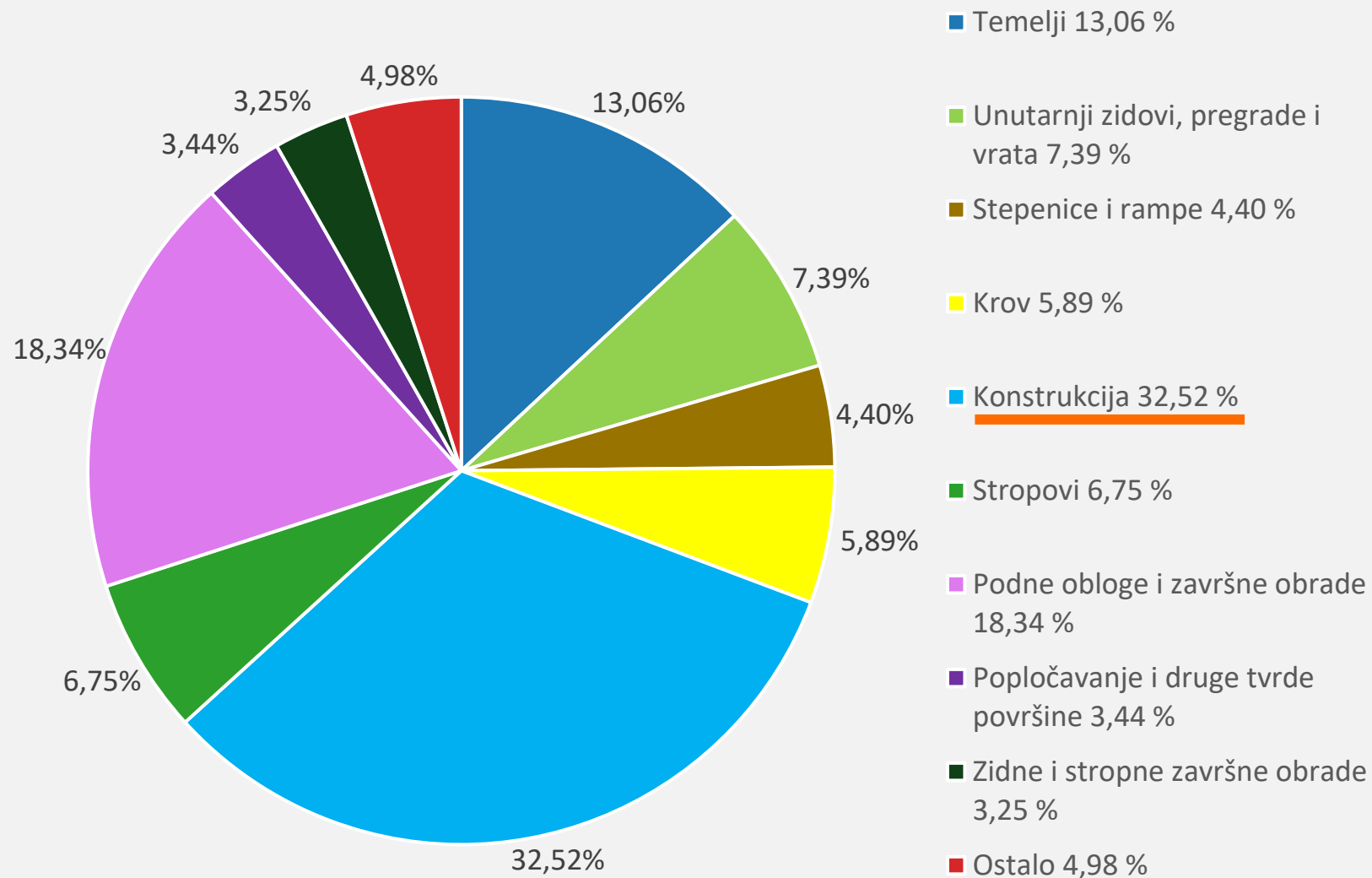
Izvor: Bačvar V. Obnova zgrade do razine zgrade nulte emisije. 2023.

Pretpostavke i ograničenja

- referentni period LCA analize: **50 godina**
- obuhvaćene granice sustava: **A1-A5, B4-B5, C2-C4, D**
- radovi demontaže i rušenja modelirani su pod istom kategorijom faze kraja životnog ciklusa:
Rušenje zgrade mješovite konstrukcije
- radovi demontaže i rušenja: 10 % tlocrtne bruto površine → **1665 m²**
- za svaki građevinski materijal prijevoz je unesen kao **zasebna** stavka te je **pretpostavljen**
- postojeći materijali koji ostaju u građevini **nisu** uključeni u analizu

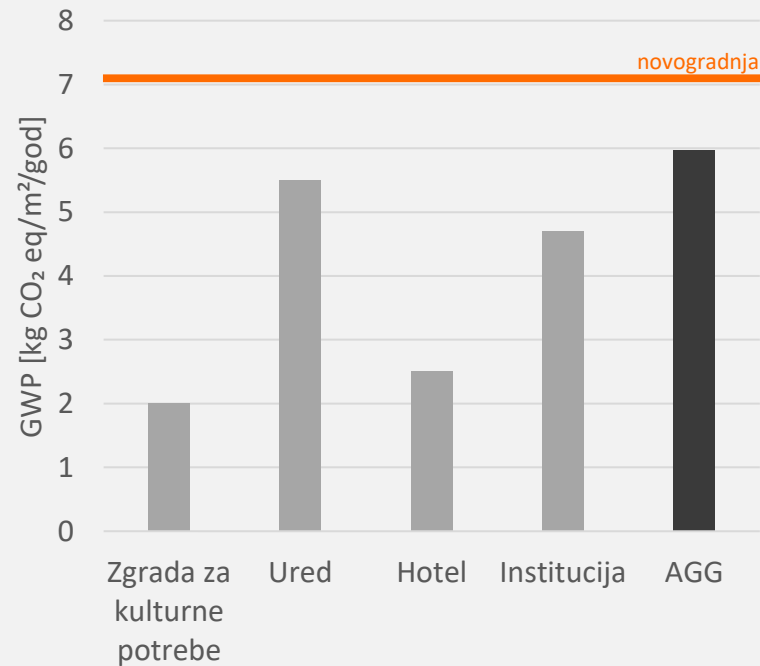


Rezultati

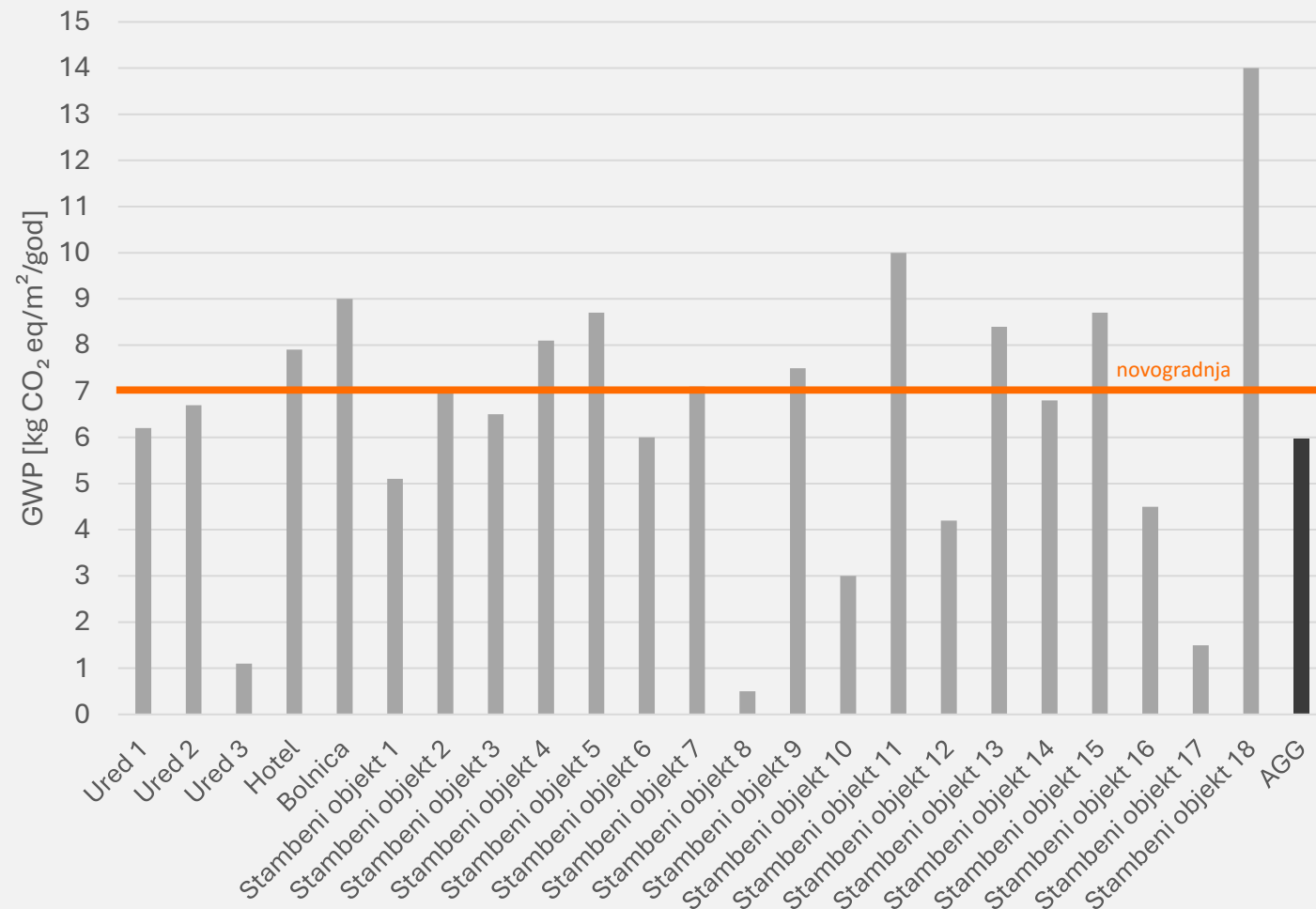


utjecaj pojedinih građevnih dijelova na klimatske promjene

Usporedba rezultata



utjecaj na okoliš projekata obnove u odnosu na kategoriju obnove: promjena namjene



utjecaj na okoliš projekata obnove u odnosu na kategoriju obnove: ostali radovi obnove

Izvor: Lund AM, Zimmermann RK, Kragh J, Rose J, Aggerholm S, Birgisdottir H. Whole Life Carbon Assessment of Renovation: Possibility of Specifying Limit Values for LCA of Renovation Work

Zahvala

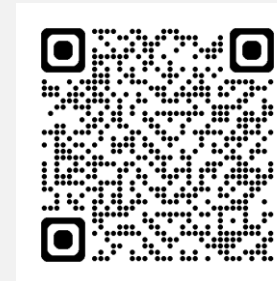
Erasmus+ projekt Education for GREEN transformation of CONstruction sector – GREENCO (šifra projekta: 101111694)

GREENCO



Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Active storage of captured CO₂ in net zero construction products – ASCCENT (šifra projekta: 101159895)



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Research Executive Agency (REA). Neither the European Union nor REA can be held responsible for them.

Građevinski fakultet Sveučilište u Zagreb

www.grad.unizg.hr



University of Zagreb
Faculty of Civil Engineering

