

Primjena LCA u analizama ekološke prihvatljivosti zelenih građevinskih materijala

doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Sveučilište Sjever, Odjel za Graditeljstvo, Varaždin



UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



Uvod

- **Life Cycle Assessment (LCA)** – jedan je od najprikladnijih alata za procjenu potencijalnih okolišnih utjecaja prilikom odlaganja otpada na odlagalištima, ali i prilikom korištenja otpada/nusproizvoda kao zamjenskih materijala u građevinskoj industriji
- Spaljivanje mulja pridonosi značajnom smanjenju njegove ukupne mase (do 85%) i volumena (do čak 90%)
- Ipak, i nakon spaljivanja preostaju značajne količine otpada (pepela) koji je potrebno adekvatno zbrinuti



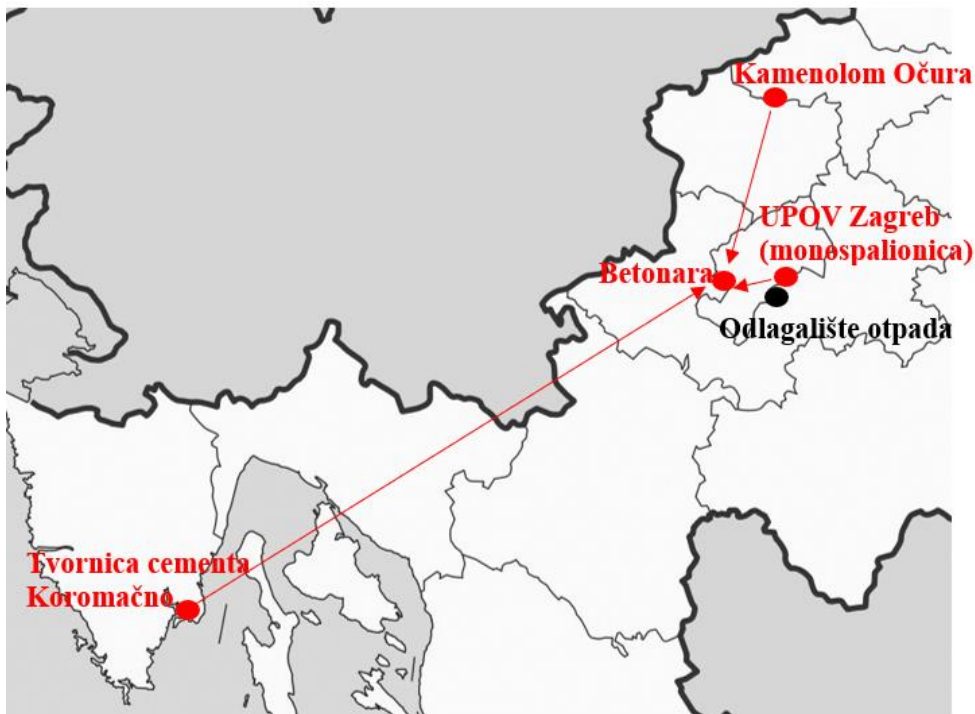
Metodologija – pepeo u građ. materijalima

- Korišten pepeo dobiven spaljivanjem mulja s UPOV-a Zagreb (900°C, 2,5h, prethodno osušen na 90% ST)
- Granule samljevene do finog praškastog materijala sličnog cementu
- Na ovaj način dobiven je pepeo kakav bi se mogao očekivati iz modernih spalionica mulja

- Analize na dobivenom pepelu
- Priprema uzoraka betona za provedbu laboratorijskih ispitivanja (referentne mješavine i mješavine s 10% cementa zamijenjenog pepelom):
 - 9 kocki za ispitivanje tlačne čvrstoće
 - 3 kocke za ispitivanje VDP
 - 3 prizme za ispitivanje savojne čvrstoće
 - izluživanje iz uzoraka morta (prizme) – “tank leaching test” (referentni mort te s 10%-tnim udjelom zamjene cementa pepelom)

Metodologija – pepeo u građ materijalima

- Podaci o lokacijama dobavljača cementa i agregata dobiveni su od tvrtke Beton Lučko d.o.o., kao i podaci o utrošku električne energije u proizvodnji jedinične količine betona (oko 24 kWh/m³ proizvedenog betona). Lokacija izgradnje monospalionice mulja koja koristi tehnologiju peći s izgaranjem u vrtložnom sloju pretpostavljena je na lokaciji UPOV-a Zagreb.



Od	Do	Udaljenost [km]
Spalionica (UPOV Zagreb)	Betonara (Beton Lučko)	19
Spalionica (UPOV Zagreb)	Odlagalište otpada (Jakuševac)	13
Kamenolom (Očura)	Betonara (Beton Lučko)	67
Cementara (Koromačno)	Betonara (Beton Lučko)	231

Metodologija – pepeo u građ materijalima

- Kao funkcionalna jedinica modela definirana je jedinična količina betona proizvedenog u odabranoj betonari Beton Lučko d.o.o., dakle 1 m³ betona. Sve ostale potrebne količine materijala direktno su proračunom vezane na količinu 1 m³ proizvedenog betona, na osnovi sastava betona prethodno definiranih u sklopu eksperimentalnog dijela istraživanja.

Sastav betona s 10 %-tnim udjelom zamjene cementa pepelom

Materijal			Masa [kg]	Volumenska masa [kg/dm ³]	Volumen [dm ³]
Cement			270	2.947	91.62
Pepeo 10%			30	2.750	10.91
Voda			150	1.000	150.00
v/c	0.50		-	-	-
Zrak	2.5 %		-	-	25
Superplastifikator 1.0 %			3.0	1.1	2.73
Agregat	0 – 2 mm	30 %	593.79	2.75	215.92
	2 – 32 mm	70 %	1385.51	2.75	503.82
UKUPNO			2432.30	2.43	1000

Metodologija – pepeo u građ materijalima

- Za kreiranje modela LCA korišten je računalni program GaBi Professional, a podaci o emisijama i drugim utjecajima na okoliš direktno su preuzeti iz baze podataka integrirane u računalni program. U konkretnom slučaju, budući da detaljniji podaci o navedenim utjecajima nisu dostupni za specifičnu lokaciju (čak niti na nacionalnoj razini), korišteni su ulazni podaci relevantni za cjelokupno područje Europske unije (EU-28).

GaBi Professional – emisije i drugi okolišni utjecaji preuzeti su iz baza podataka integriranih u sklopu korištenog softwera

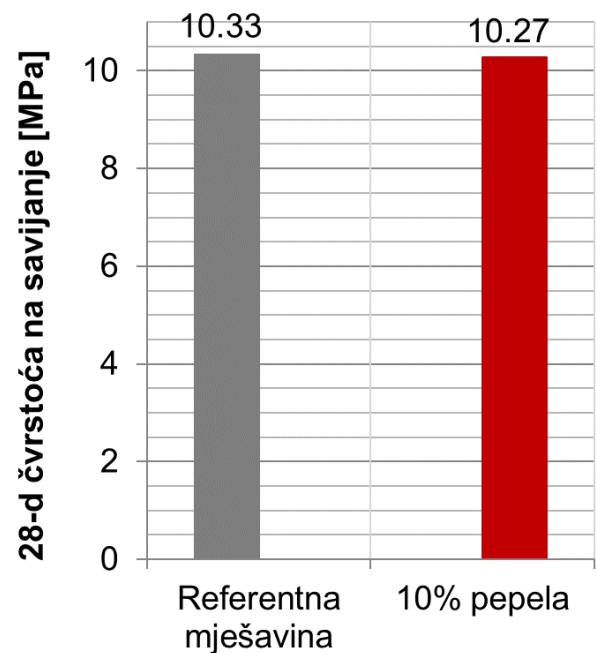
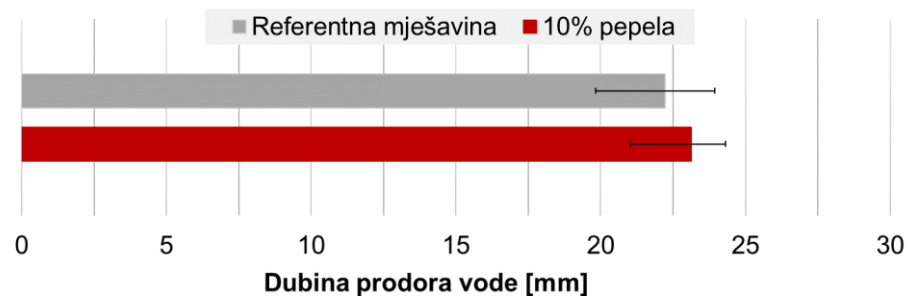
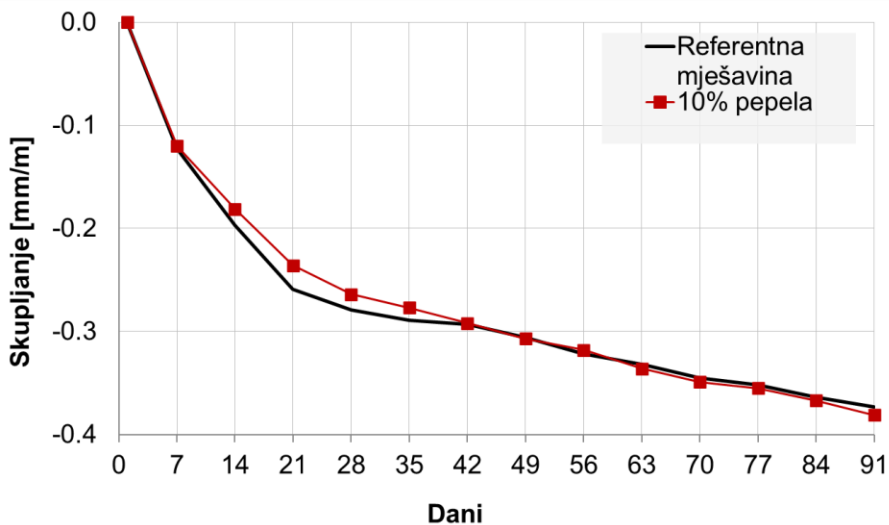
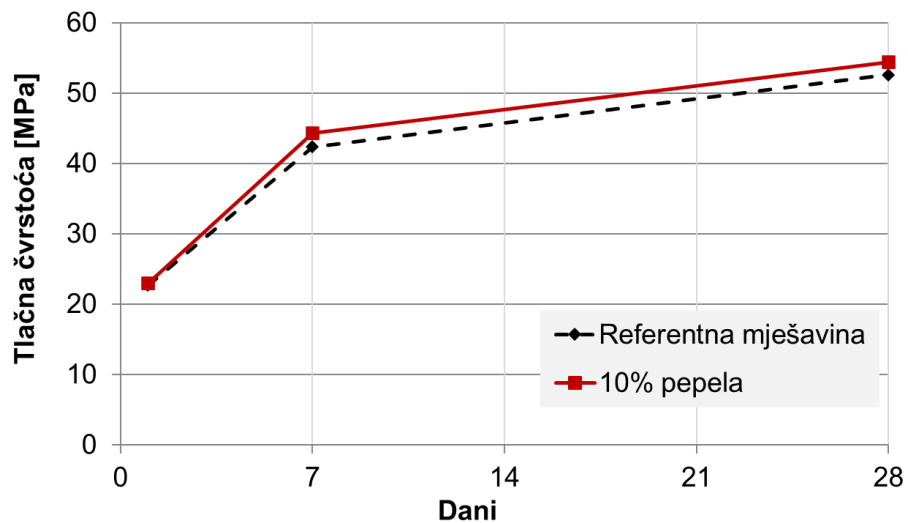


thinkstep
GaBi

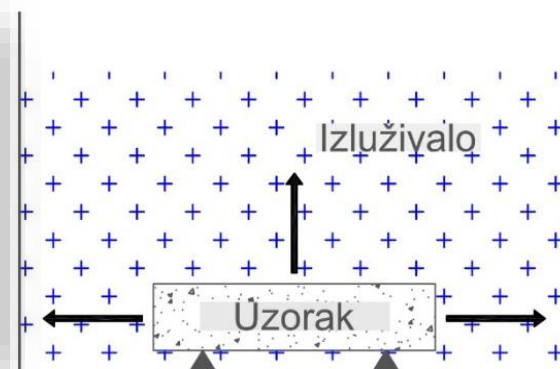
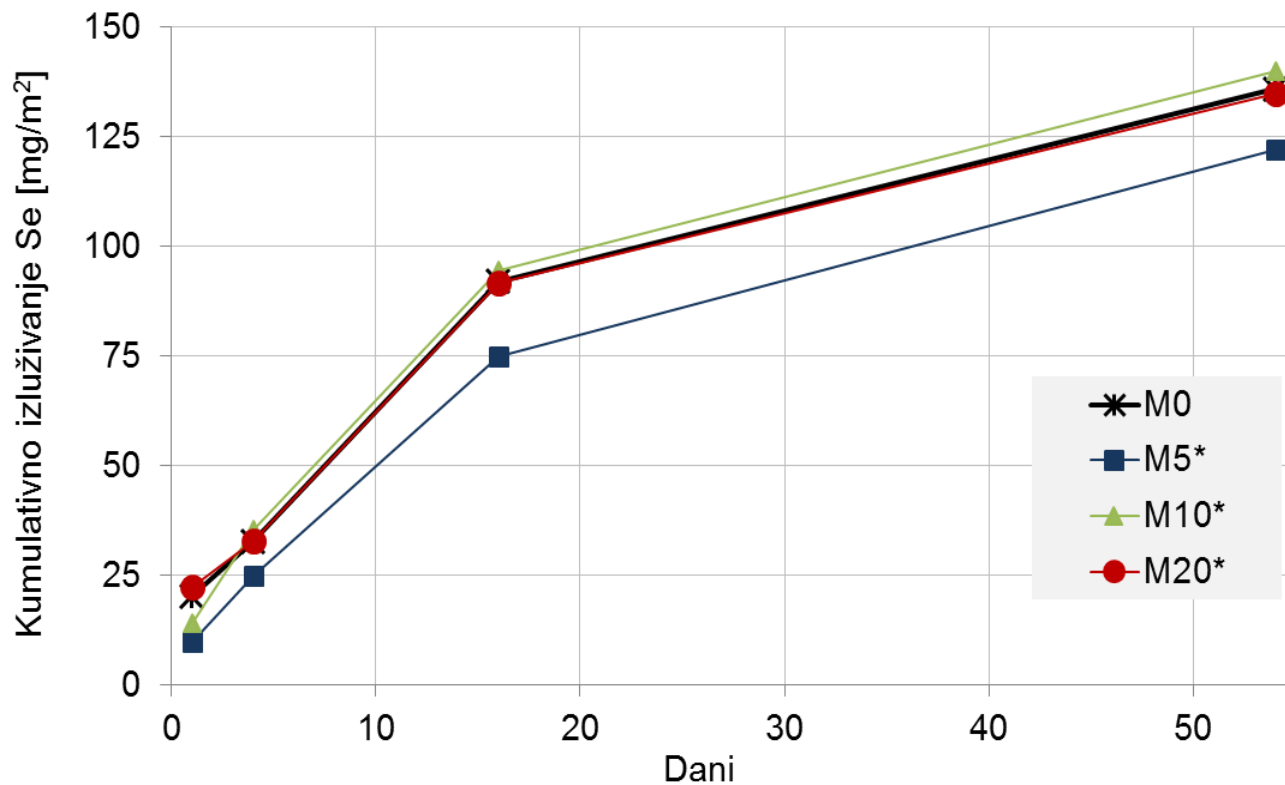
Metodologija – pepeo u građ materijalima

- Kao osnovna mjera procjene okolišnih utjecaja odabrana je kategorija potencijala globalnog zatopljenja (GWP, engl. global warming potential), odnosno sva djelovanja svest će se na zajedničku mjeru $\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3$ proizvedenog betona kako bi se omogućila njihova lakša usporedba.
- Unutar kreiranog modela LCA dana je međusobna usporedba potencijalnih utjecaja na okoliš dvaju rješenja od kojih prvo obuhvaća proizvodnju 1 m^3 običnog betona te istovremeno odlaganje pepela na odlagalište neopasnog otpada. Pritom količina pepela koja se transportira i odlaže na odlagalište odgovara količini pepela kojom se u sklopu druge varijante zamjenjuje 10 % cementa u proizvodnji jednake količine (1 m^3) eksperimentalnog („zelenog“) betona.

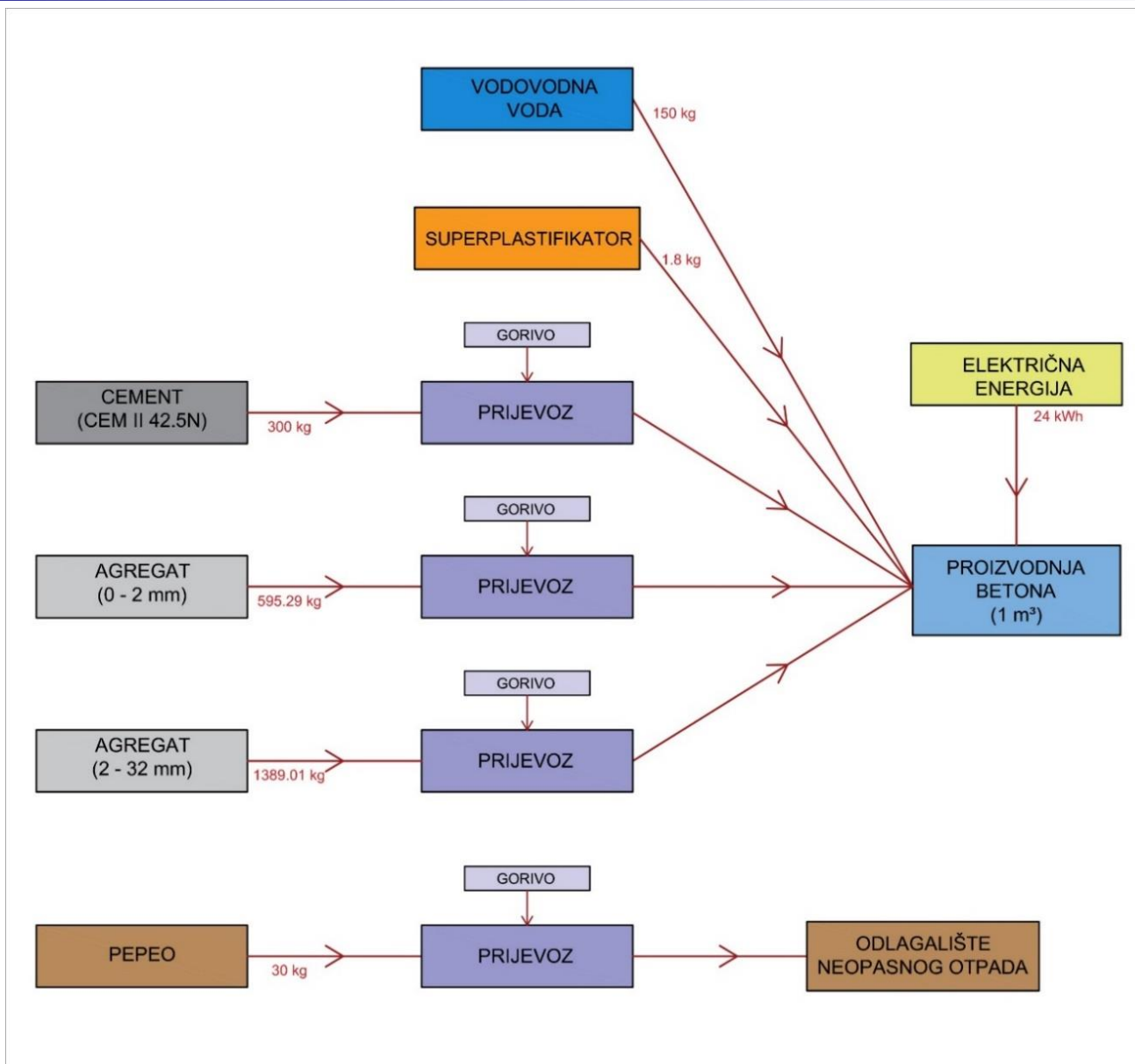
Metodologija – pepeo u građ materijalima



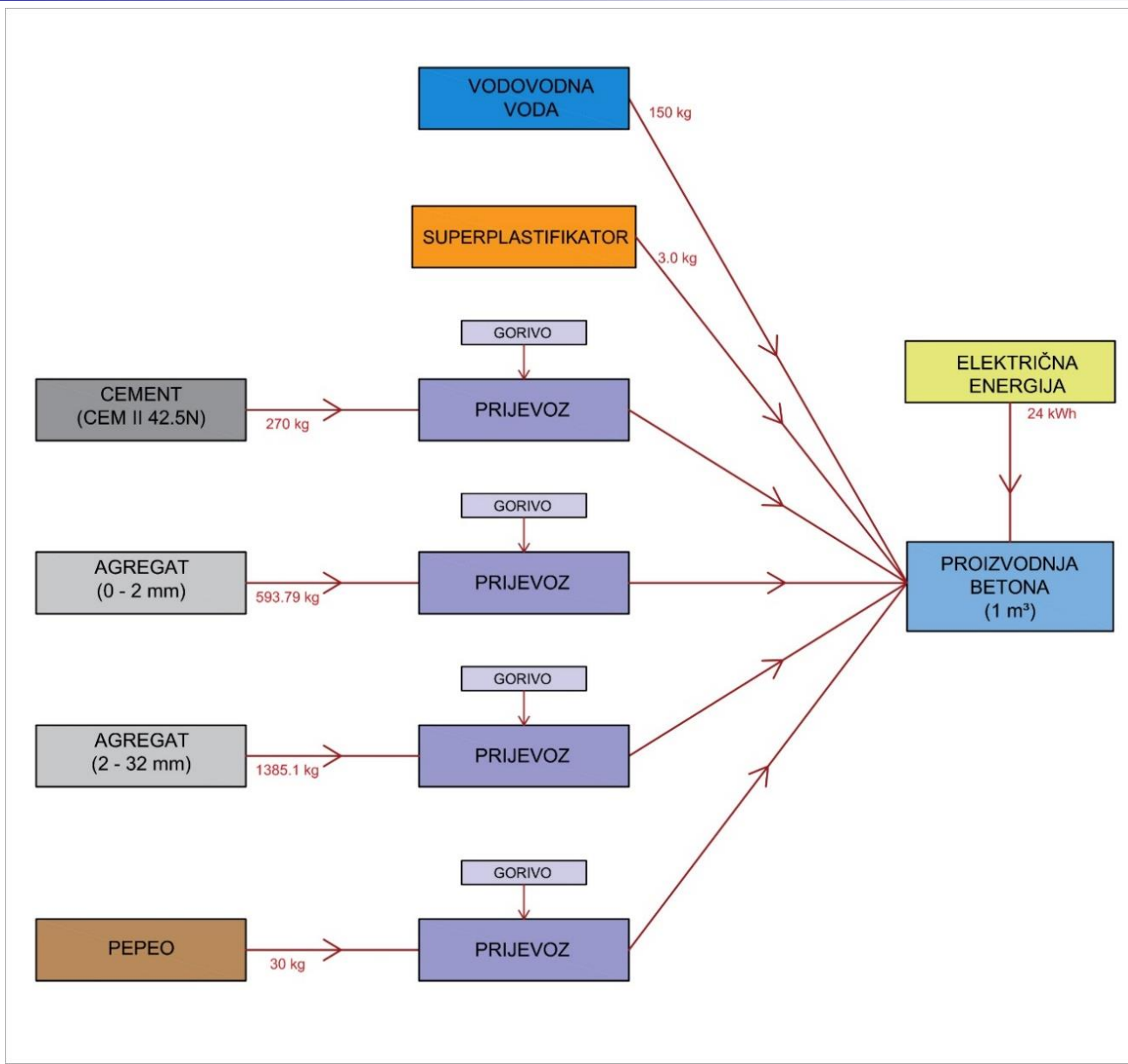
Rezultati ispitivanja izluživanja



Shematski blok dijagram LCA modela za proizvodnju 1 m³ običnog betona uz istovremeno odlaganje 30 kg pepela na odlagalište neopasnog otpada



Shematski blok dijagram LCA modela za proizvodnju 1 m³ eksperimentalnog betona s 10 %-tnim udjelom zamjene cementa pepelom (30 kg)

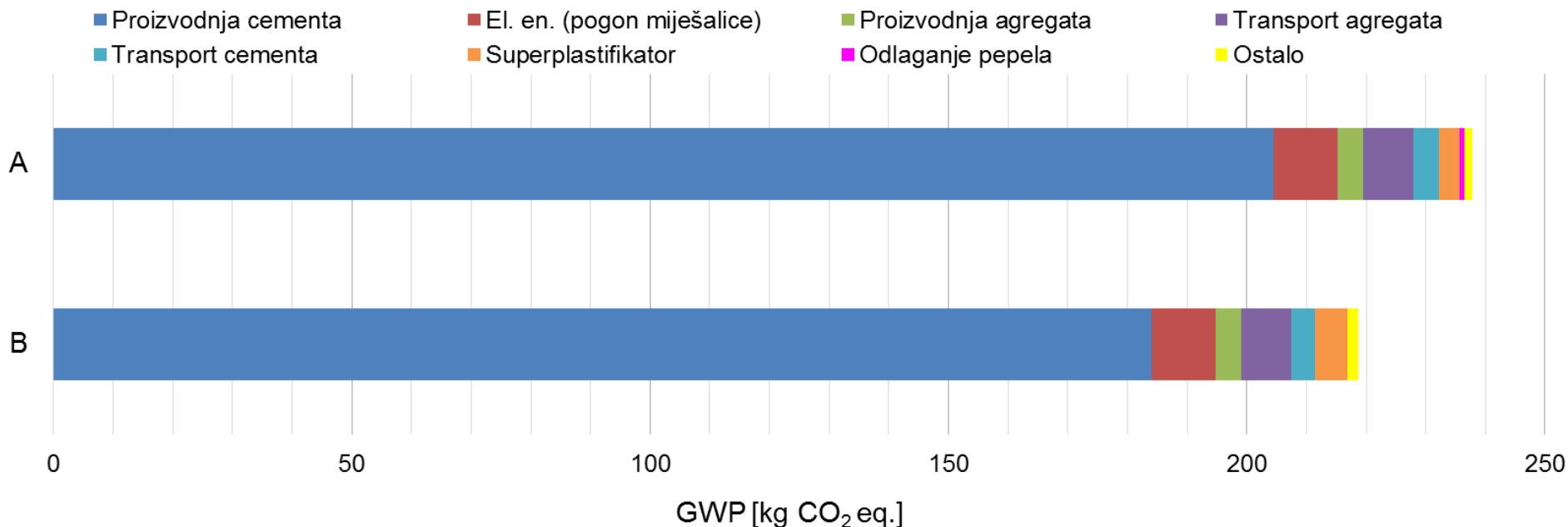


Rezultati

Rezultati LCA modela gdje je:

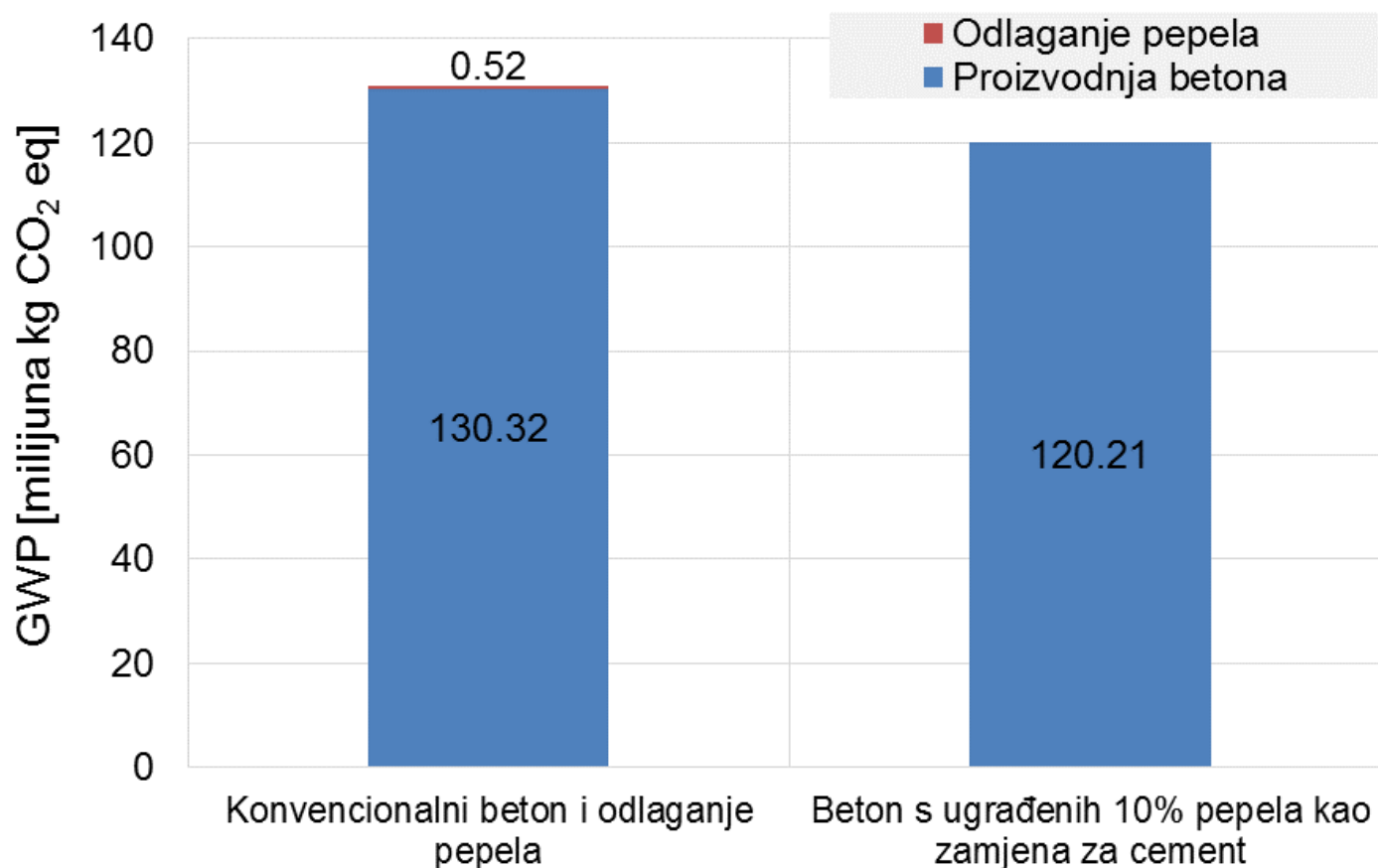
A – proizvodnja 1 m³ običnog betona i odlaganje pepela na odlagalište, u količini koja se u drugoj varijanti koristi kao zamjena za cement;

B – proizvodnja 1 m³ betona s 10 %-tnom zamjenom cementa pepelom



Rezultati

Usporedni rezultati LCA modela za proizvodnju 550 000 m³ običnog betona uz istovremeno odlaganje 16 500 t pepela na odlagalište i proizvodnju betona s ugrađenom istom količinom pepela



Rezultati

Rezultati kreiranog LCA modela prema ostalim kategorijama potencijalnih utjecaja na okoliš

Kategorija utjecaja	Jedinica mjere	Proizvodnja običnog betona i odlaganje pepela	Proizvodnja betona s 10 %-tnim udjelom zamjene cementa pepelom
ADP	[kg Sb _{eq}]	0.0004153960	0.0003758850
GWP	[kg CO _{2eq}]	237.8801104410	218.6743589000
ODP	[kg R11 _{eq}]	0.0000000130	0.0000000125
HTP	[kg DCB _{eq}]	66.4981966170	59.9478485900
TETP	[kg DCB _{eq}]	0.5396680670	0.4854419370
POCP	[kg etilena _{eq}]	0.0265605040	0.0235784190
AP	[kg SO _{2eq}]	0.4245220450	0.3907315890
EP	[kg fosfata _{eq}]	0.0633800410	0.0593602680

*ADP – potencijal iscrpljivanja resursa (engl. *Abiotic Depletion Potential*)

GWP – potencijal globalnog zatopljenja (engl. *Global Warming Potential*)

ODP – potencijal oštećenja ozonskog omotača (engl. *Ozone Layer Depletion Potential*), R11 – CCl₃F

HTP – potencijal toksičnosti za ljude (engl. *Human Toxicity Potential*), DCB – 1,4-diklorbenzen

TETP – potencijal toksičnosti za okoliš (engl. *Terrestrial Ecotoxicity Potential*)

POCP – potencijal fotokemijskog stvaranja ozona (engl. *Photochem. Ozone Creation Potential*)

AP – potencijal acidifikacije (zakiseljavanja) (engl. *Acidification Potential*)

EP – potencijal eutrofikacije (engl. *Eutrophication Potential*)

Zaključak

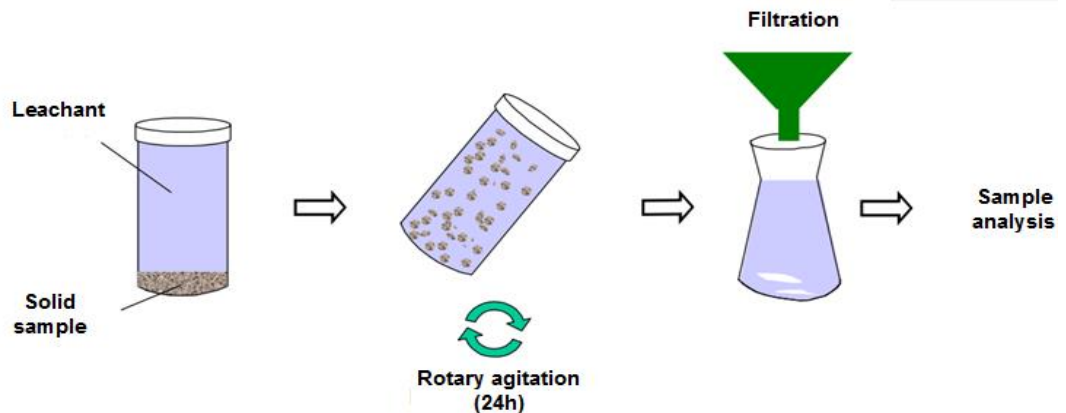


- ✓ **Varijanta sa zamjenom dijela cementa pepelom i eliminiranjem potrebe za odlaganjem pepela generira za 5 – 11 % manje potencijalne utjecaje na okoliš ovisno o analiziranoj kategoriji. (prosječna vrijednost smanjenja potencijalnih utjecaja na okoliš na osnovi svih analiziranih kategorija oko 9 %)**
- ✓ **Korištenjem cjelokupnih količina pepela koji bi se generirao spaljivanjem mulja s UPOV-a Zagreb kao zamjene za 10 % cementa u proizvodnji betona, a prema analiziranoj koncepciji i uzimajući u obzir osnovne pretpostavke postavljenog LCA modela, na godišnjoj razini moguće je očekivati smanjenje potencijala globalnog zatopljenja u iznosu većem od 10 milijuna kg CO_{2eq}**

Metodologija – pepeo na odlagalištu

- Pregledom literature i laboratorijskim ispitivanjima pepela s 4 UPOV-a u RH dobiveni su podaci o rasponima koncentracija izluživanja (min i max) 10 analiziranih teških metala

L/S = 10 l/kg
pri vlastitiom pH



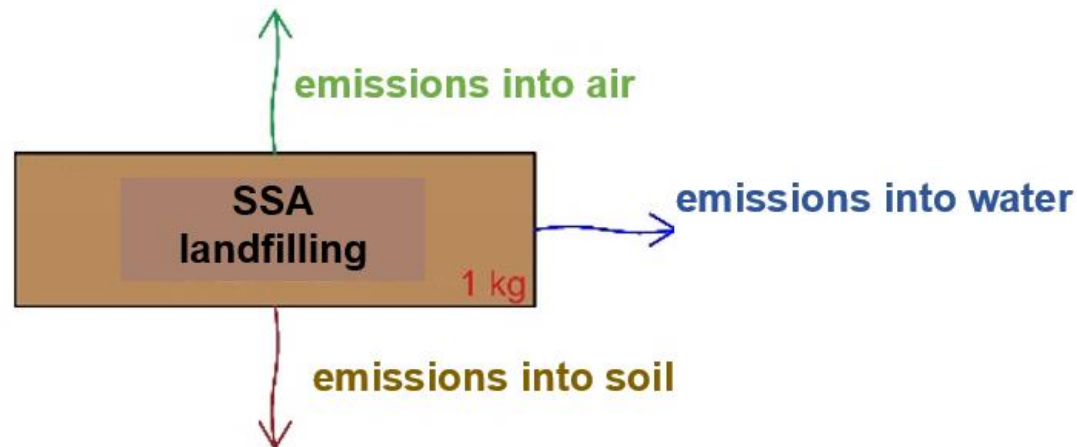
- **GaBi Professional** – emisije i drugi okolišni utjecaji preuzeti su iz baza podataka integriranih u sklopu korištenog softwarea



thinkstep
GaBi

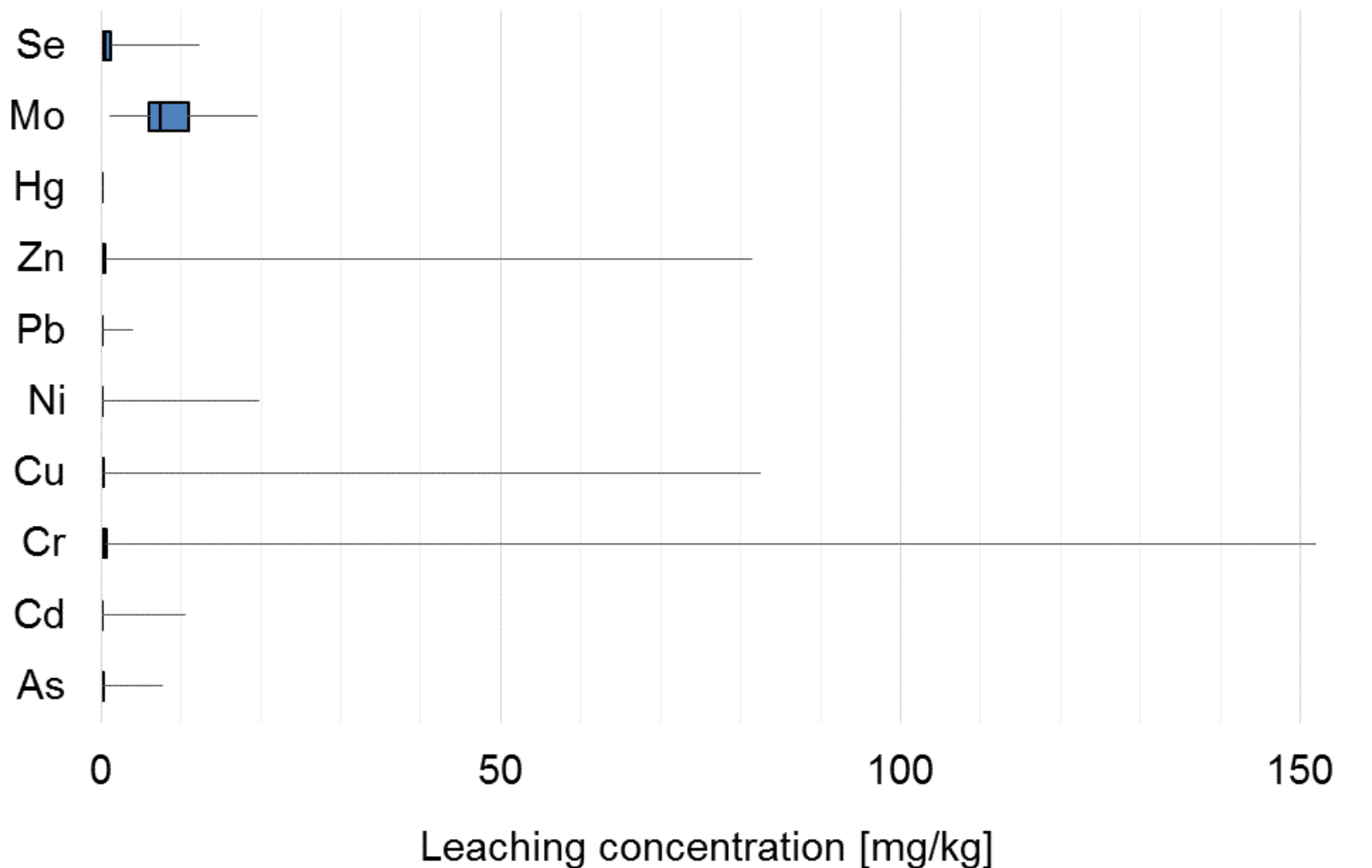
Metodologija – pepeo na odlagalištu

- **1 kg pepela odložen na odlagalište neopadnog otpada – funkcionalna jedinica modela** (ukupna količina izluživanja pojedinog teškog metala pridonosi emisijama u zrak, vode i tlo)
- Razmatrana su dva indikatora za opis okolišnih utjecaja:
 - human toxicity potential (**HTP**)
 - terrestrial ecotoxicity potential (**TETP**)
- Rezultati su iskazani u [kg DCBeq.]



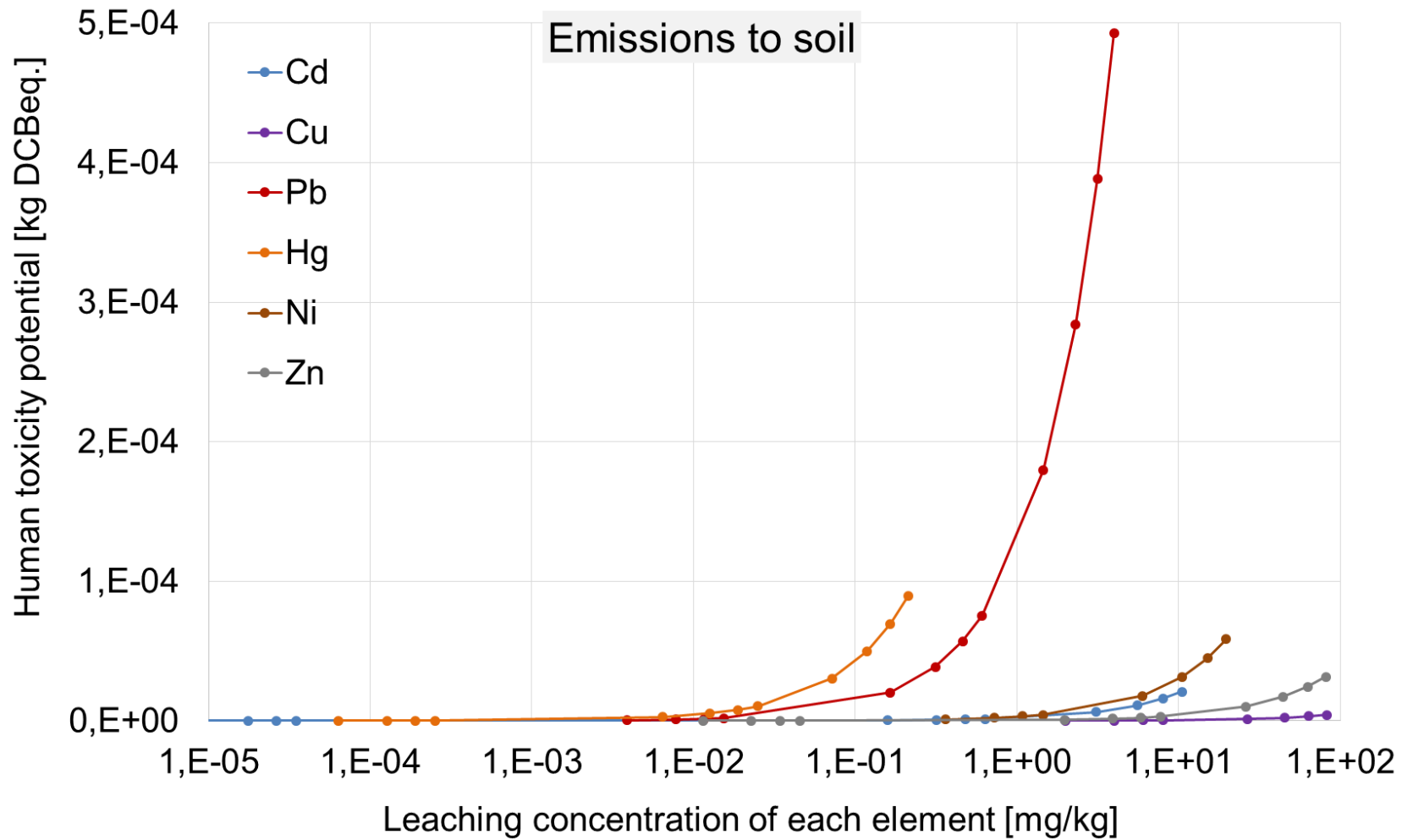
Rezultati

Raspon koncentracija izluživanja analiziranih teških metala



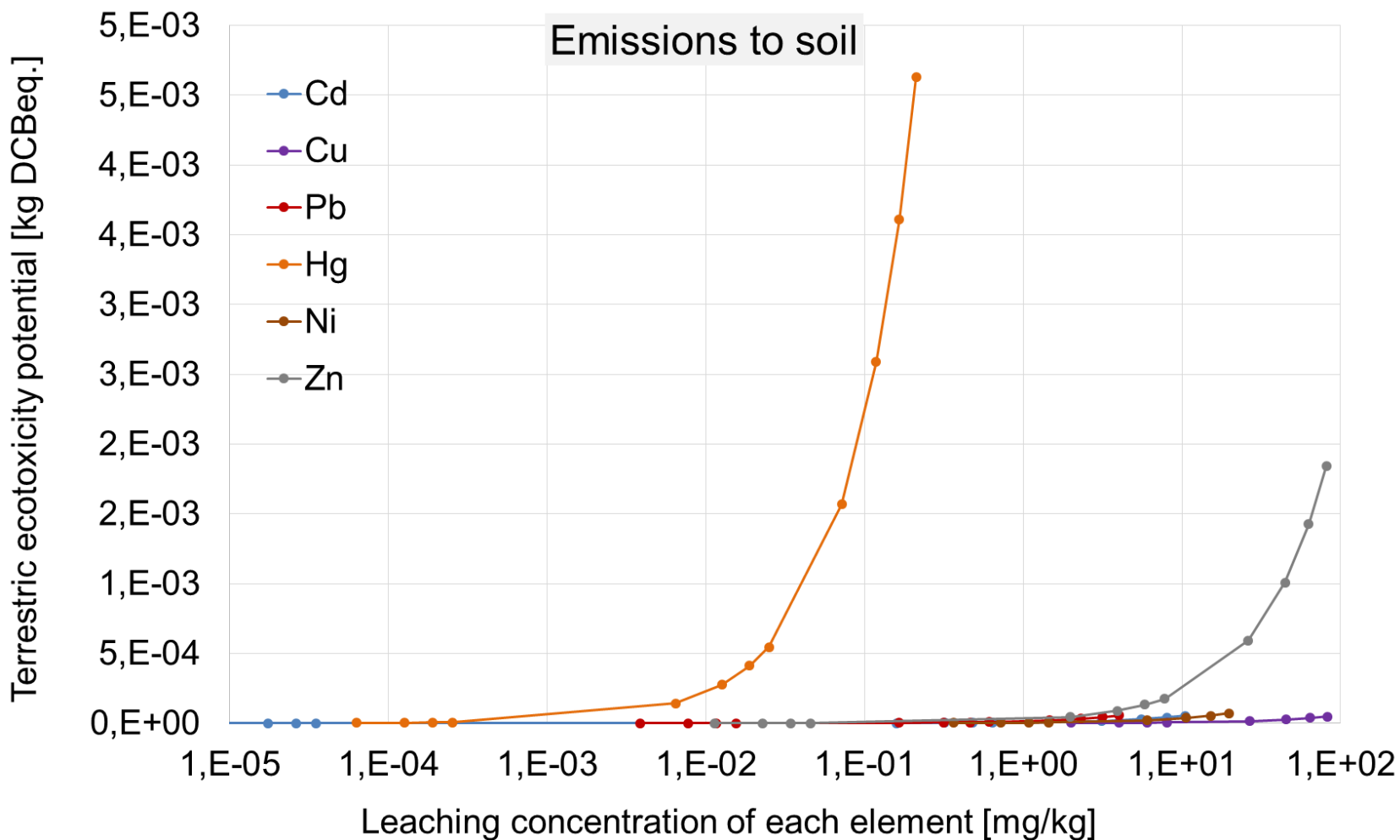
Rezultati

HTP



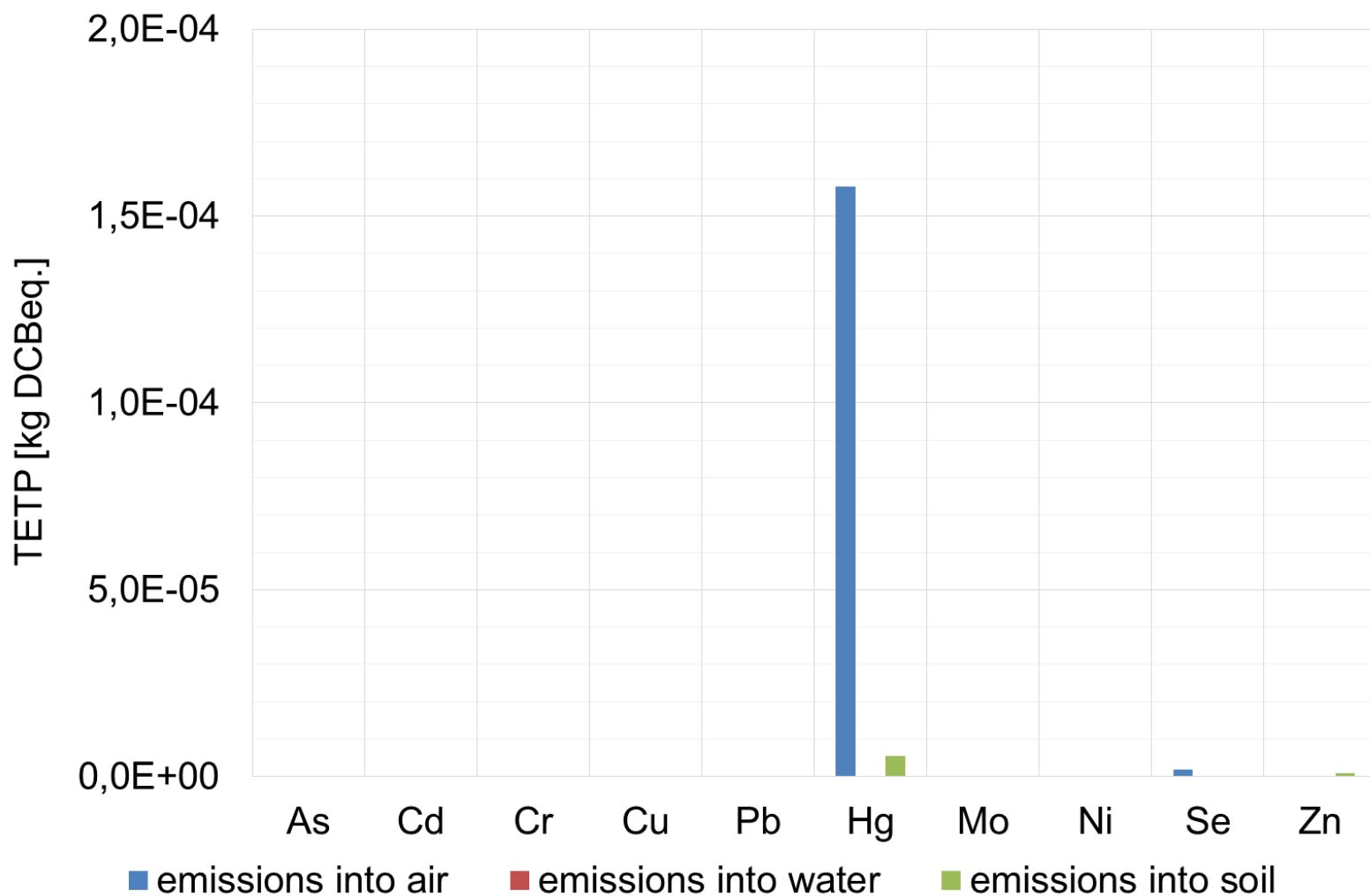
Rezultati

TETP



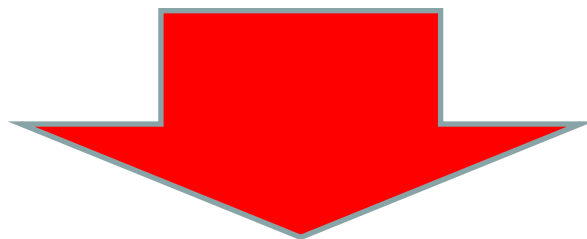
Results

Pepeo s područja RH



Rezultati

- Max. dopuštene koncentracije DCB u pitkoj vodi: 75 $\mu\text{g/l}$ (EPA)
- Max. dopuštene koncentracije DCB u zraku: 75 ppm (450 mg/m^3)



Hipotetski 1 kg pepela s područja RH ima potencijal onečistiti

25 m^3 pitke vode

ili

4 m^3 zraka

HVALA NA PAŽNJI !



dnakic@unin.hr

dvouk@grad.hr

Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost u okviru projekta "IP-2019-04-1169 – Zbrinjavanje pročišćenih zauljenih otpadnih voda i mulja s UPOV-a u opekarskoj industriji – proizvodnja novog opekarskog proizvoda u okviru kružne ekonomije".