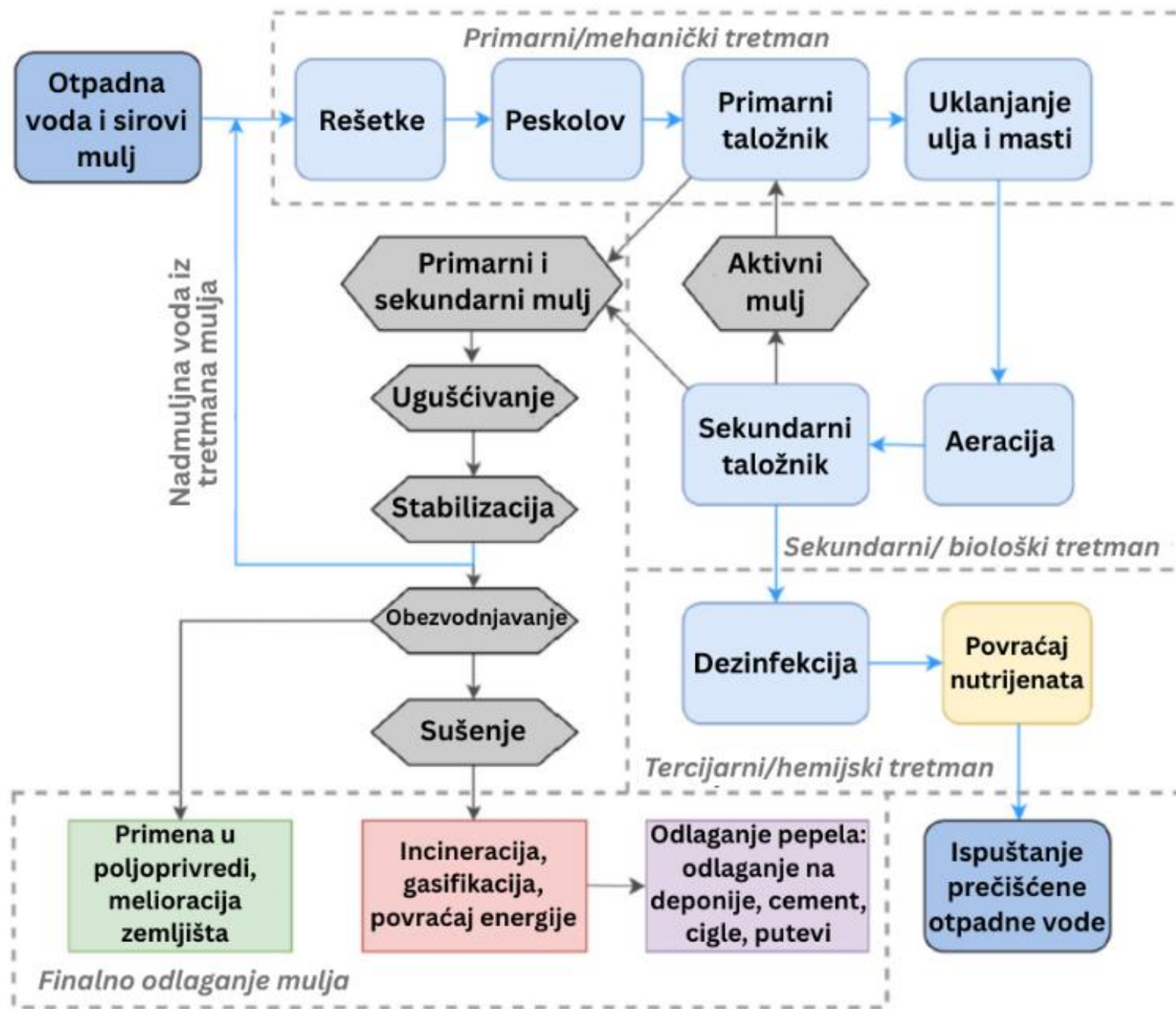




Primena prepa

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

17. Septembar 2025. Novi Sad





CILJEVI



RANIJE

ELIMINACIJA

SADA

**OPORAVAK
MATERIJALA**

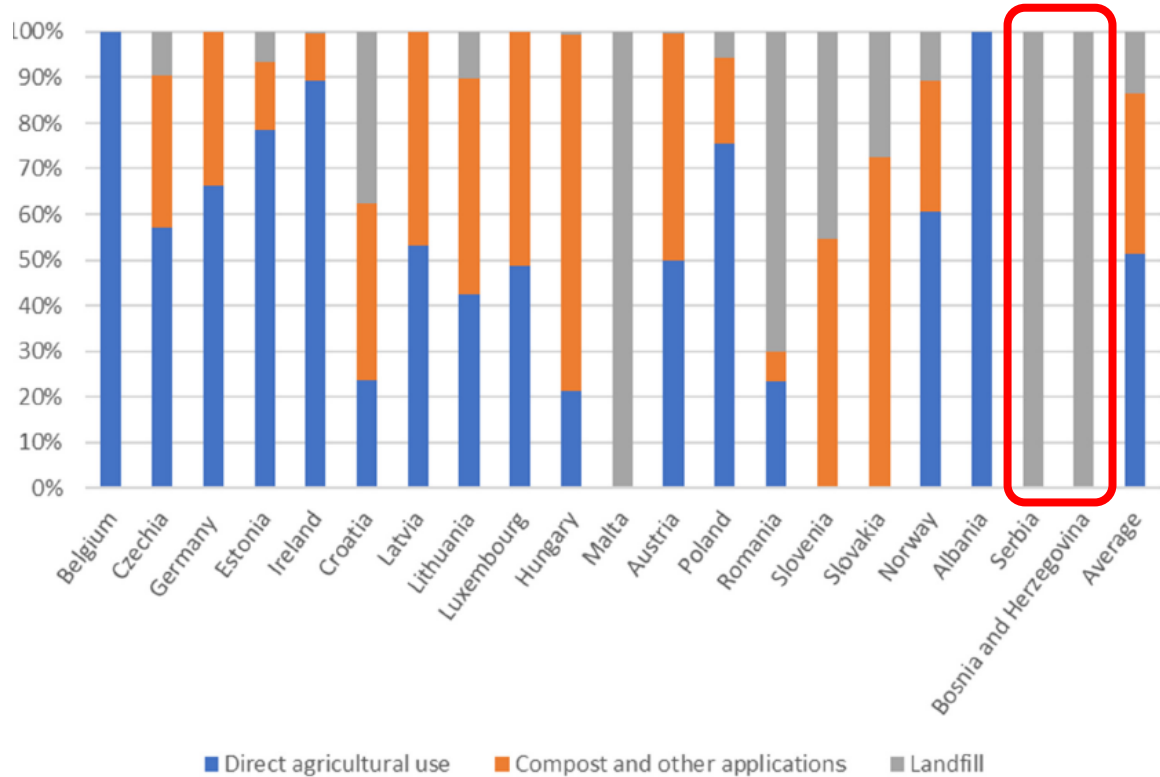
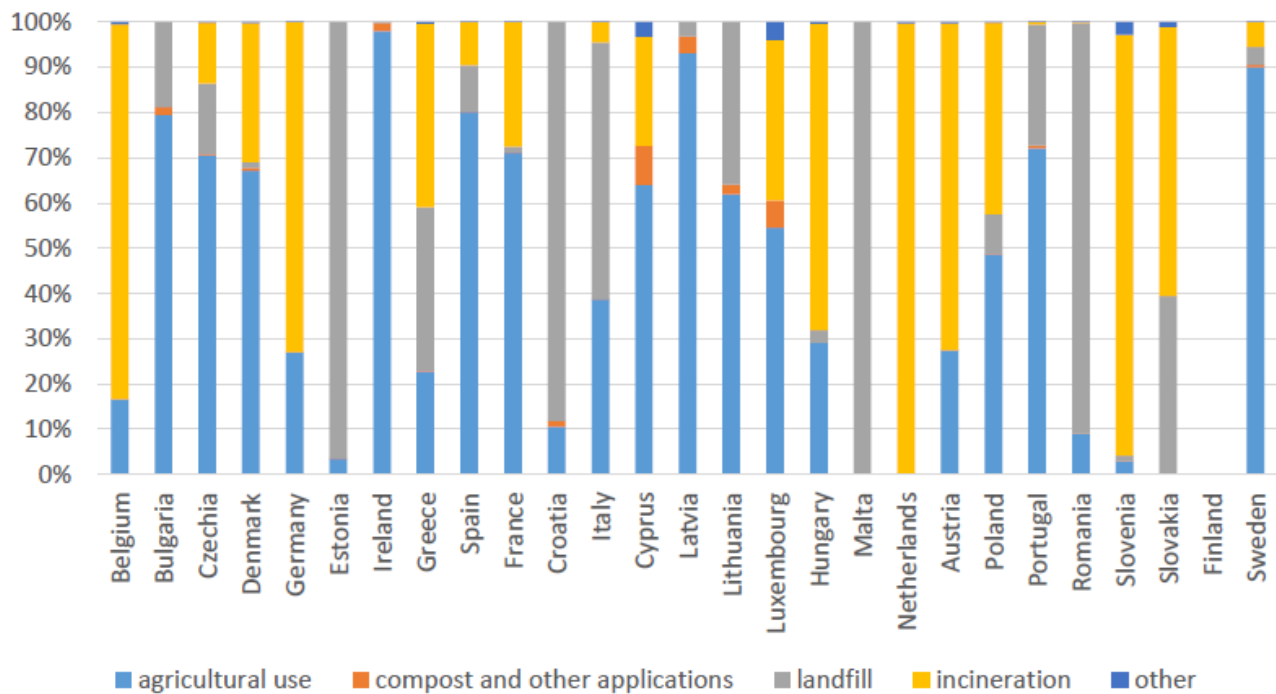
**PROIZVODNJA
ENERGIJE**

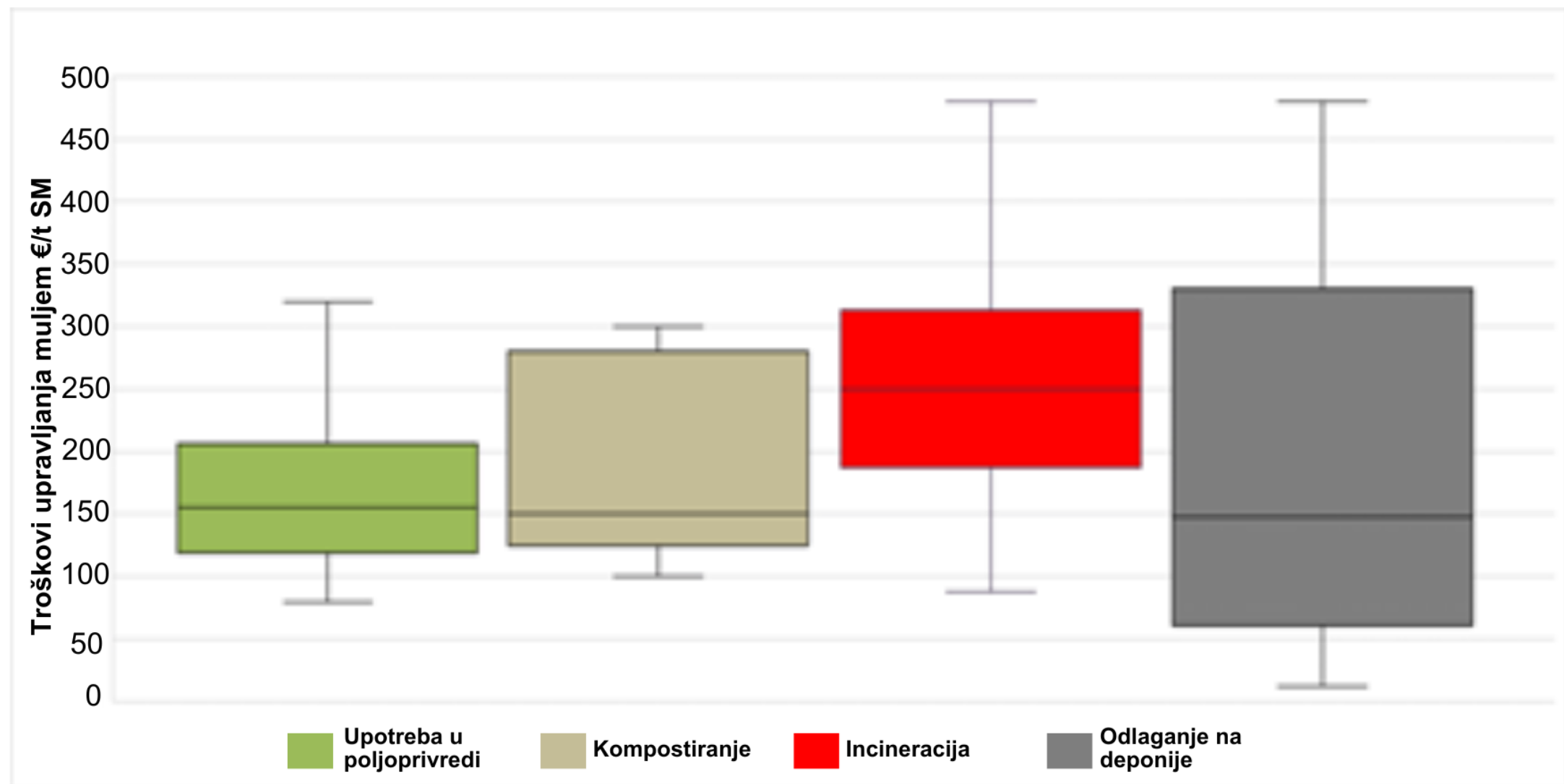


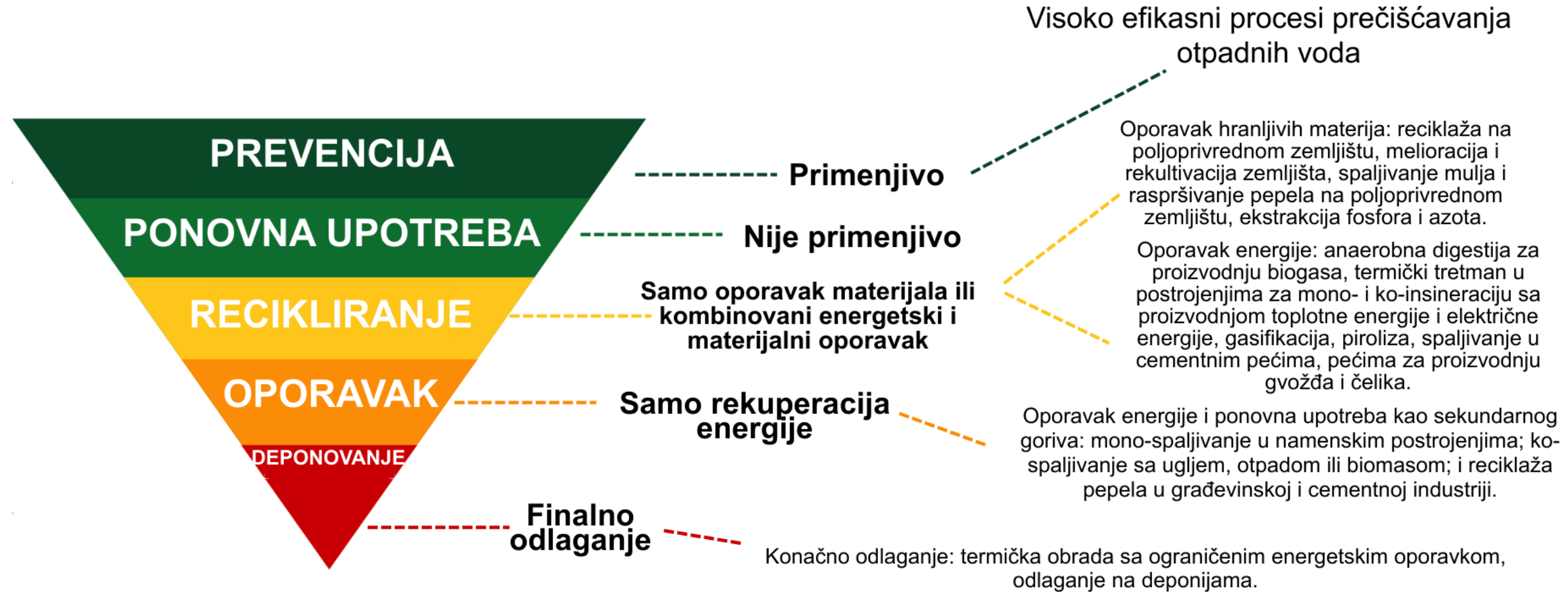
EU – 11.1 miliona
tona/god

17 kg/
stanovnik

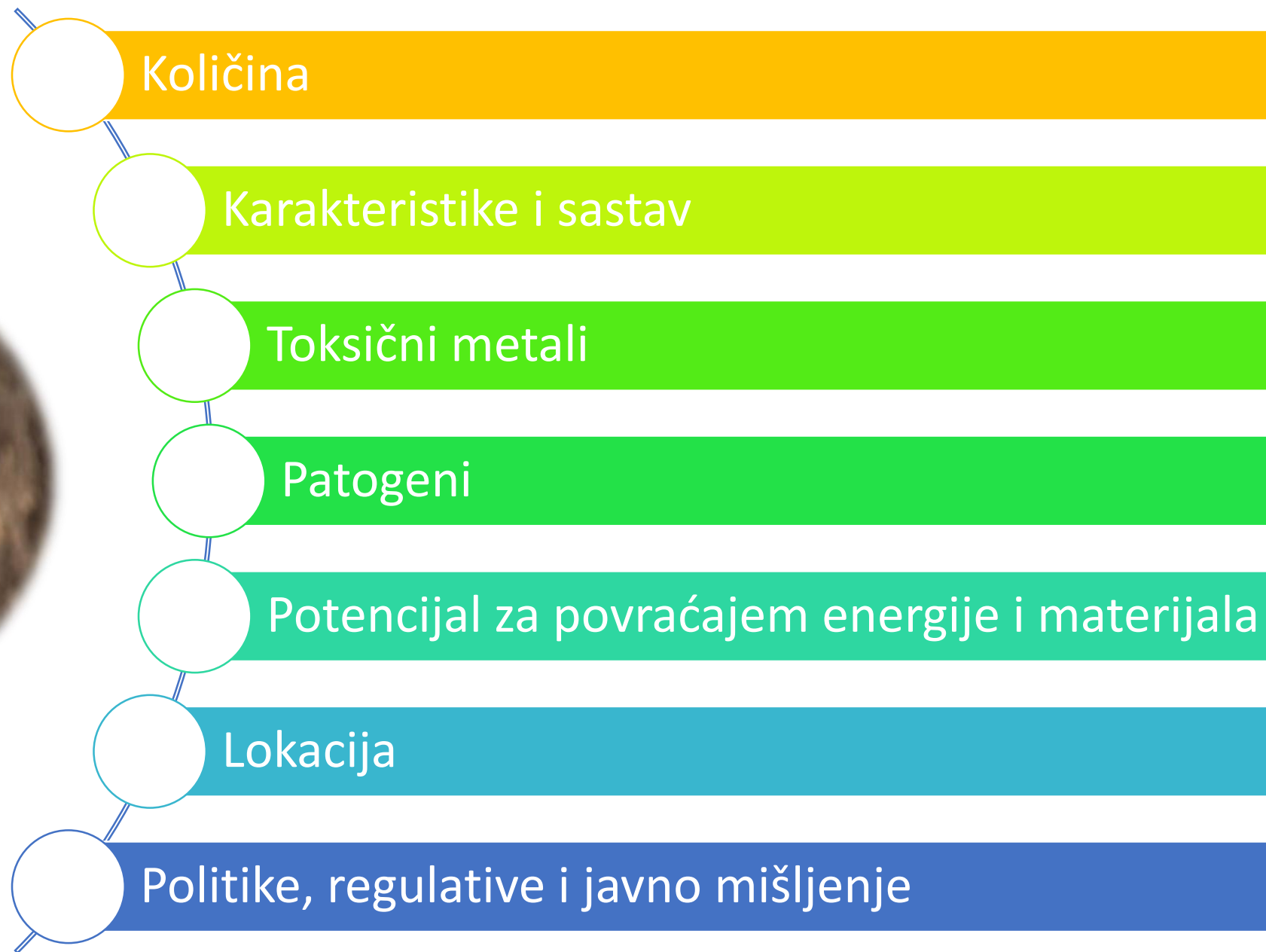


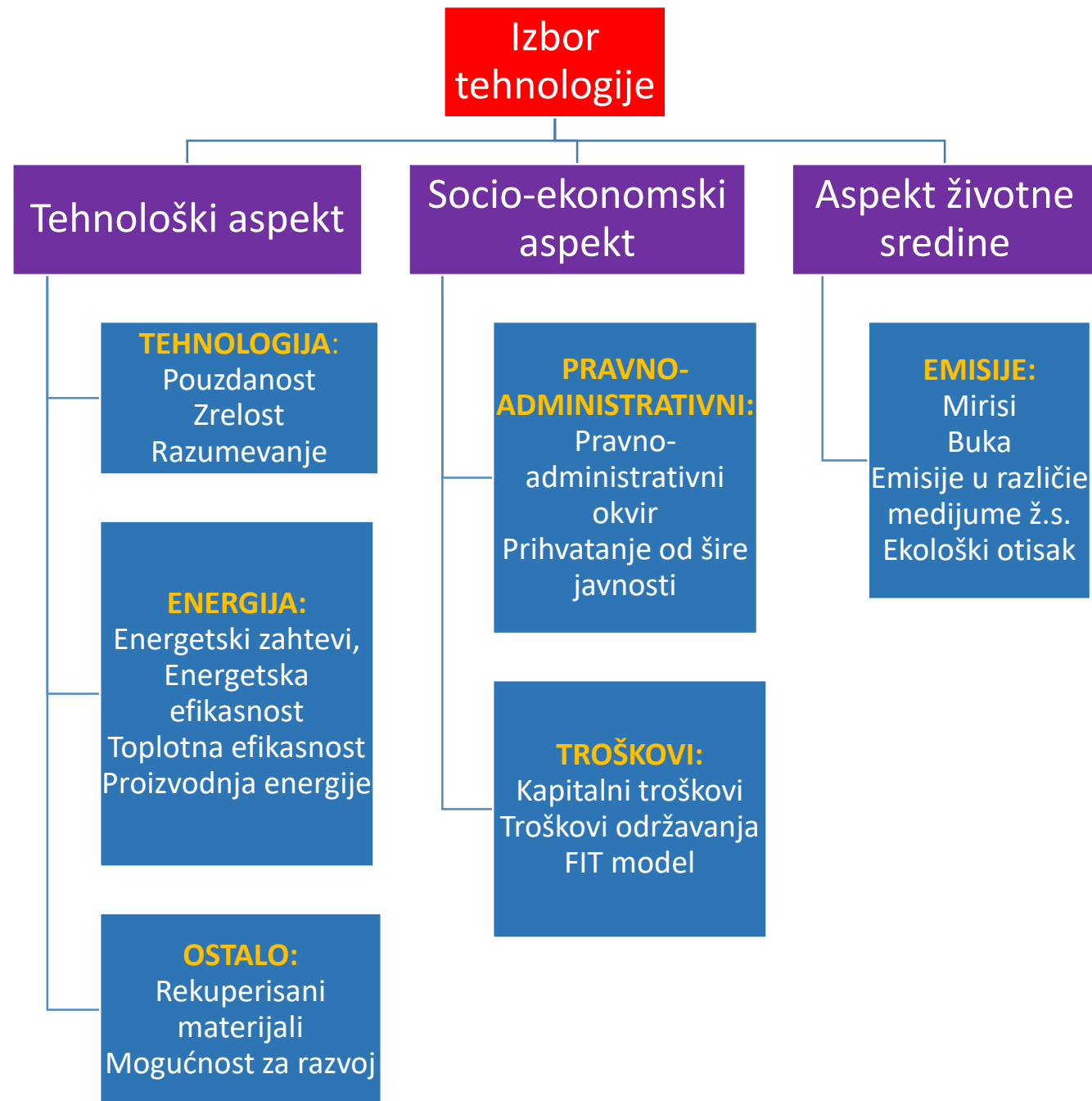






Kako odabrati tehnologiju tretmana?

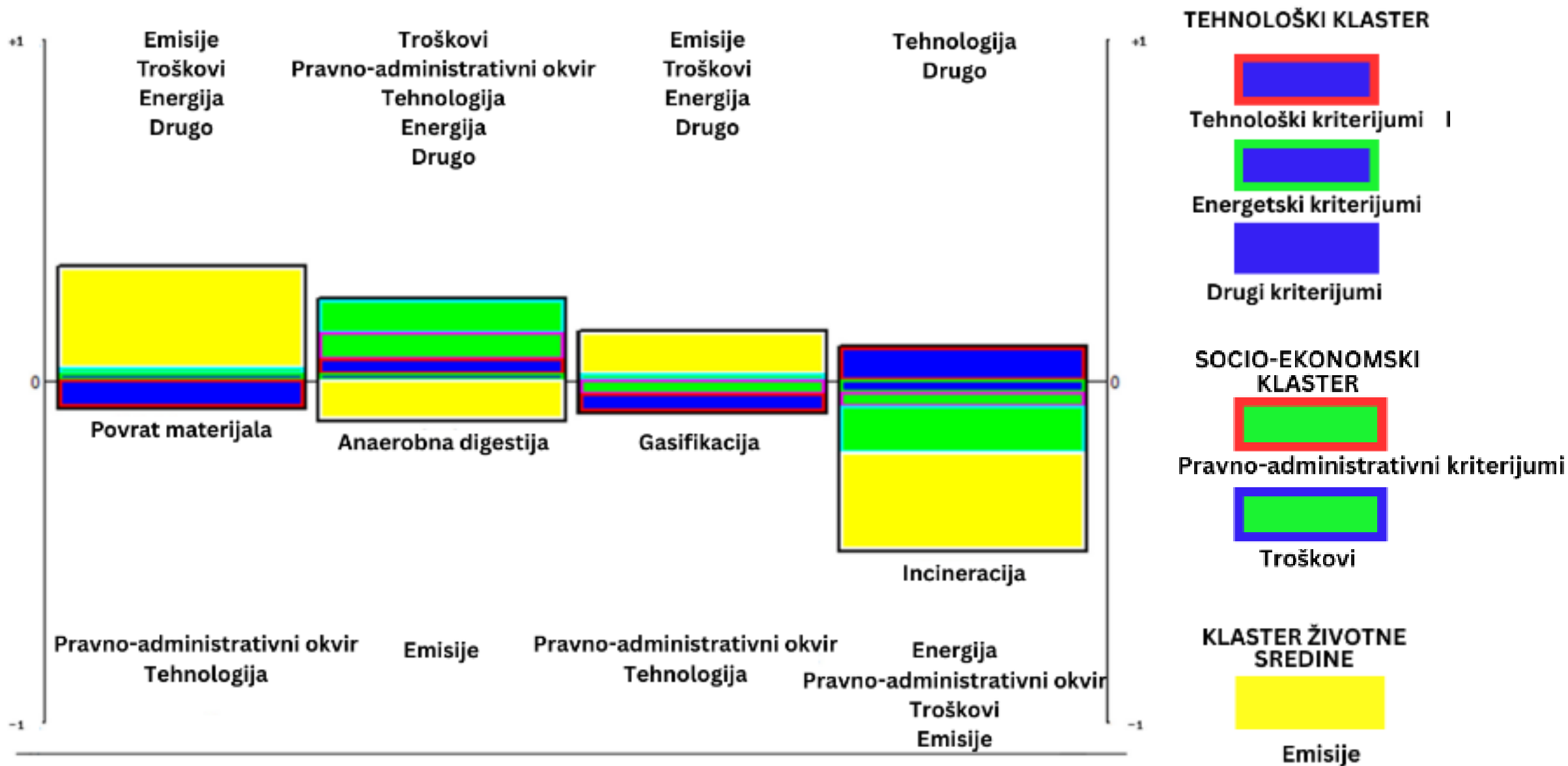




Klaster	Grupa	Kriterijum	Rangiranje	Cilj	Opis
Kvalitativno rangiranje: 1 = veoma loše, 2 = loše, 3 = neutralno, 4 = dobro, 5 = veoma dobro					
Tehnološki	Tehnologija	Pouzdanost	Kvalitativni (1-5)	Max	Proceniti nivo razvoja svake tehnologije tretmana mulja (eksperimentalna faza, prototip, demonstracioni projekat, industrijska-skala, broj instalacija) i potencijal za daljim poboljšanjem.
		Zrelost	Kvalitativni (1-5)	Max	Proceniti prednosti i slabosti svage tehnologije tretmana mulja i potencijal za uspehom u budućnosti.
		Razumevanje	Kvalitativni (1-5)	Max	Koliko je korišćenje tehnologije poznato; Koliko je eksperata kompetentno da izvodi zadatke i koristi sve mogućnosti date tehnologije.
	Energija	Zahtevi za energijom	MWh/godina	Min	Toplotni i zahtevi za električnom energijom tokom rada (digestori, reaktori, incineratori, aeratori, pumpanje, ugušćivanje, obezvodnjavanje, itd.)
		Efikasnost električne energije	%	Max	Električna samodovoljnost: Koliko električne energije se može dobiti iz in-situ energetskog izvora (biogas, mulj)? Odnos ukupne generisane električne energije nasuprot ukupno utrošenoj.
		Toplotna efikasnost	%	Max	Toplotna samodovoljnost: koliko toplotne energije se može dobiti iz in-situ energetskog izvora (biogas, mulj)? Odnos ukupne generisane toplotne energije nasuprot ukupno utrošenoj.
		Proizvodnja energije	MWh/godina	Max	Količina energije proizvedene rekuperacijom energetskog sadržaja u mulju.
	Ostalo	Rekuperisani materijali	Kvalitativni (1-5)	Max	Potencijal tehnologije tretmana mulja za oporavak materijalnog sadržaja iz otpadnih voda i mulja.
		Potencijal za nadogradnjom	Kvalitativni (1-5)	Max	Potencijal za budući razvoj i unapređenje tehnologije tretmana mulja (povećanje efikasnosti i prinosa, smanjenje potrošnje materijala i energije).

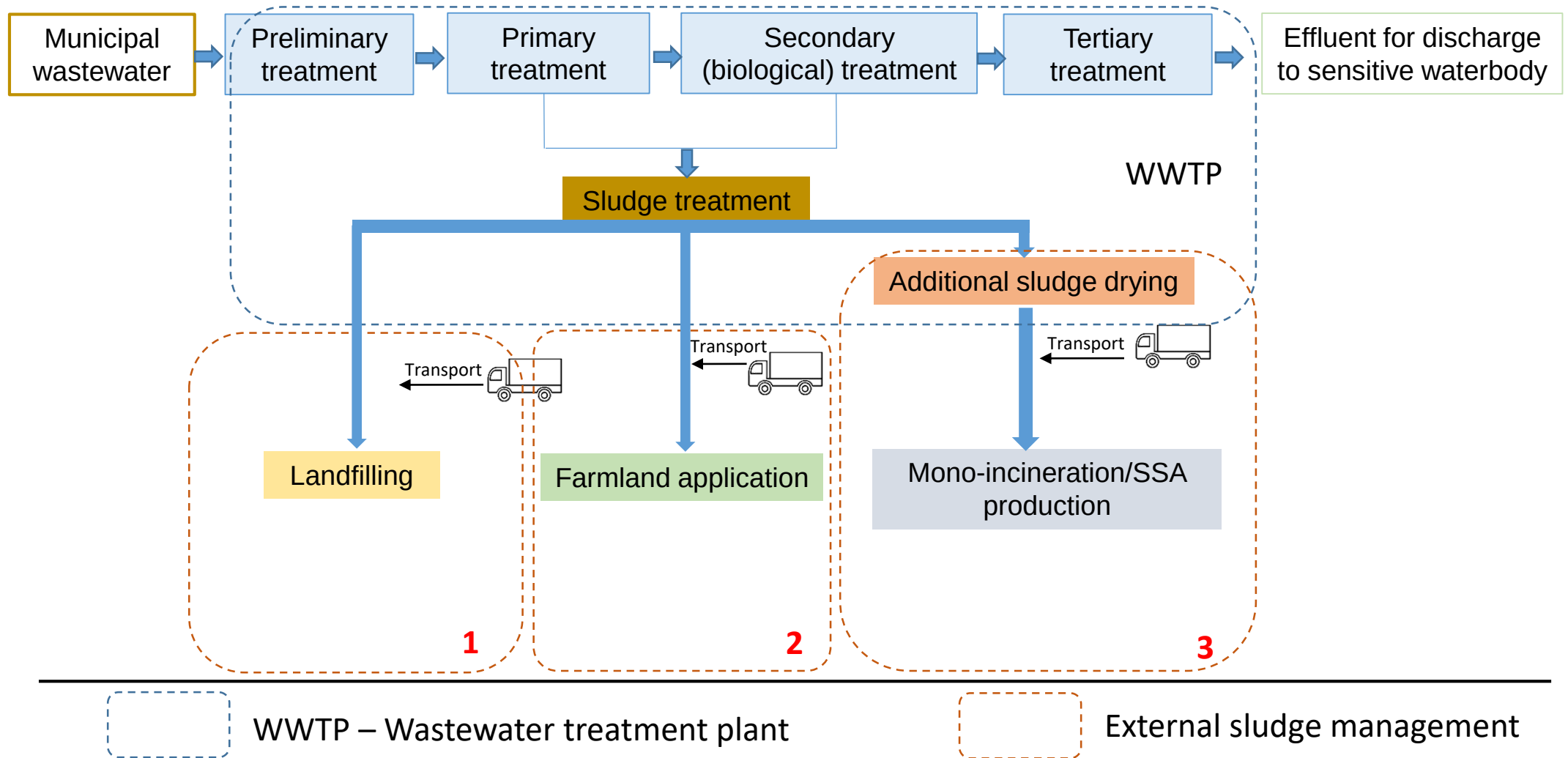
Klaster	Grupa	Kriterijum	Rangiranje	Cilj	Opis
Kvalitativno rangiranje: 1 = veoma loše, 2 = loše, 3 = neutralno, 4 = dobro, 5 = veoma dobro					
Socio-ekonomski	Pravno-administrativni	Pravno-administrativni okvir	Kvalitativni (1-5)	Max	Skup regulatornih akata, podzakonskih akata i direktiva kojima se utvrđuju obim posla, odgovornosti i očekivanja od tehnologije za tretman otpadnih voda i mulja.
		Poslovi	Broj	Max	Stvaranje novih radnih mesta.
		Prihvatanje od strane javnosti	Kvalitativni (1-5)	Max	Javno mnjenje i stav prema efektima tehnologije tretmana mulja na životnu sredinu, pejzaž, lokalnu zajednicu i zdravlje.
	Troškovi	Operativni troškovi	EUR/godini	Min	OPEX: svakodnevni troškovi (energija, materijal, zakupnina, oprema, plate, osiguranje).
		Kapitalni troškovi	EUR	Min	CAPEX: kapitalni izdaci (nabavka, nadogradnja i održavanje imovine, zgrada, tehnologije).
		Fit/Premium model	Kvalitativni (1-5)	Max	Korišćenje feed-in tarifa za isporuku proizvedene električne energije u mrežu.

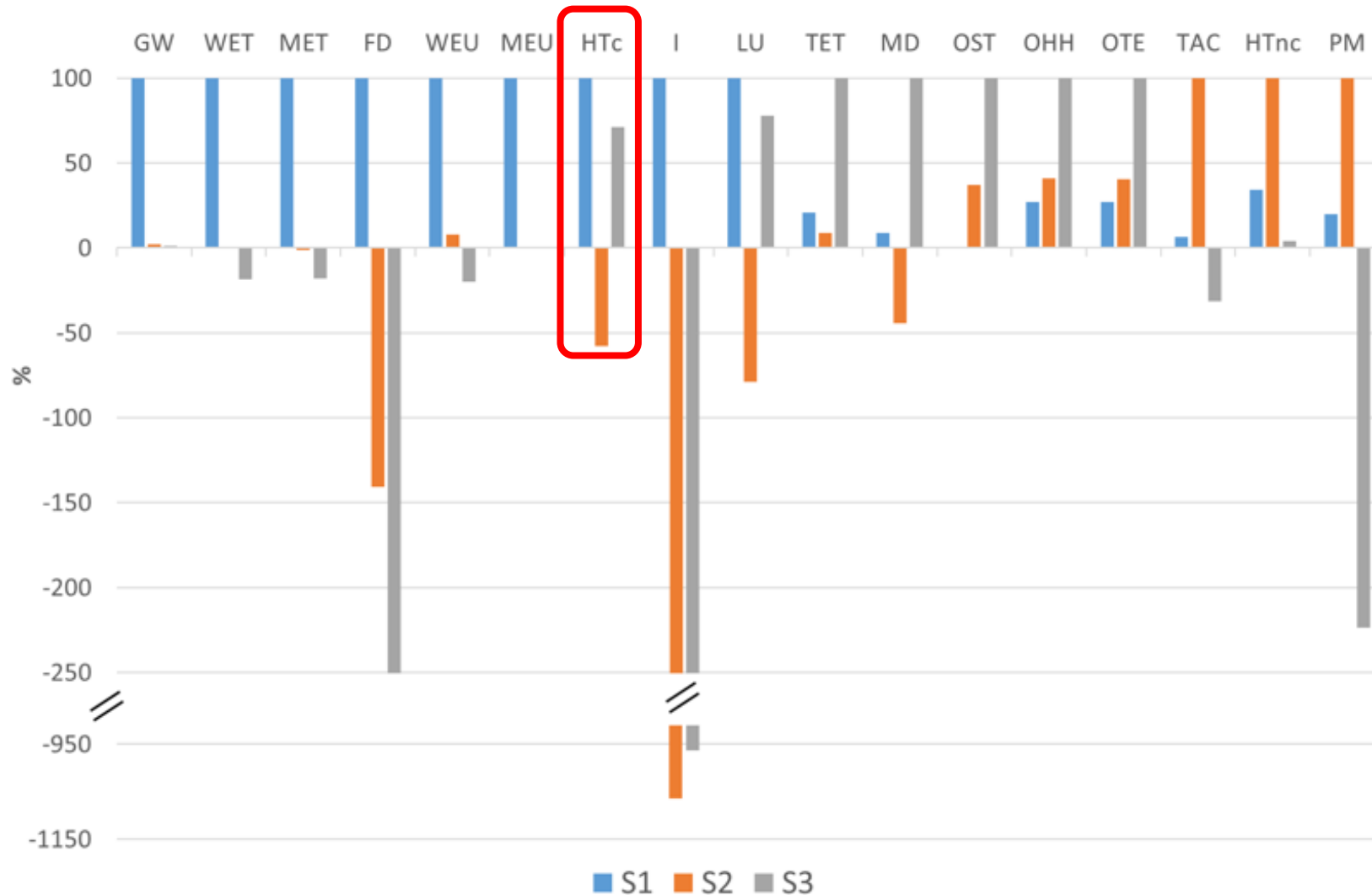
Klaster	Grupa	Kriterijum	Rangiranje	Cilj	Opis
Kvalitativno rangiranje: 1 = veoma loše, 2 = loše, 3 = neutralno, 4 = dobro, 5 = veoma dobro					
Životna sredina	Emisije	Mirisi	Kvalitativni (1-5)	Min	Pojava neprijatnih mirisa koji nastaju tokom rada postrojenja. Cilj je maksimizirati ovaj kriterijum, što znači manje mirisa koji se emituju u okolni prostor.
		Buka	Kvalitativni (1-5)	Min	Buka iz rada postrojenja negativno utiče na ljudske aktivnosti i životinjski svet. Cilj je maksimizirati ovaj kriterijum, što znači manje buke koja se širi u okolinu.
		Emisije	Tona CO ₂ eq	Min	Emisije gasova staklene bašte iz rada postrojenja, koristeći zajedničku skalu potencijala globalnog zagrevanja (GWP) za efekat staklene bašte različitih gasova.
		Ekološki otisak	Kvalitativni (1-5)	Max	Ukupan uticaj na životnu sredinu tokom celog životnog veka postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Ekološki otisak je kvantitativni prikaz potrebe za prirodnim resursima. Cilj je maksimiziranje ovog kriterijuma, što ukazuje na manji negativan uticaj na životnu sredinu i ljudsko zdravlje.



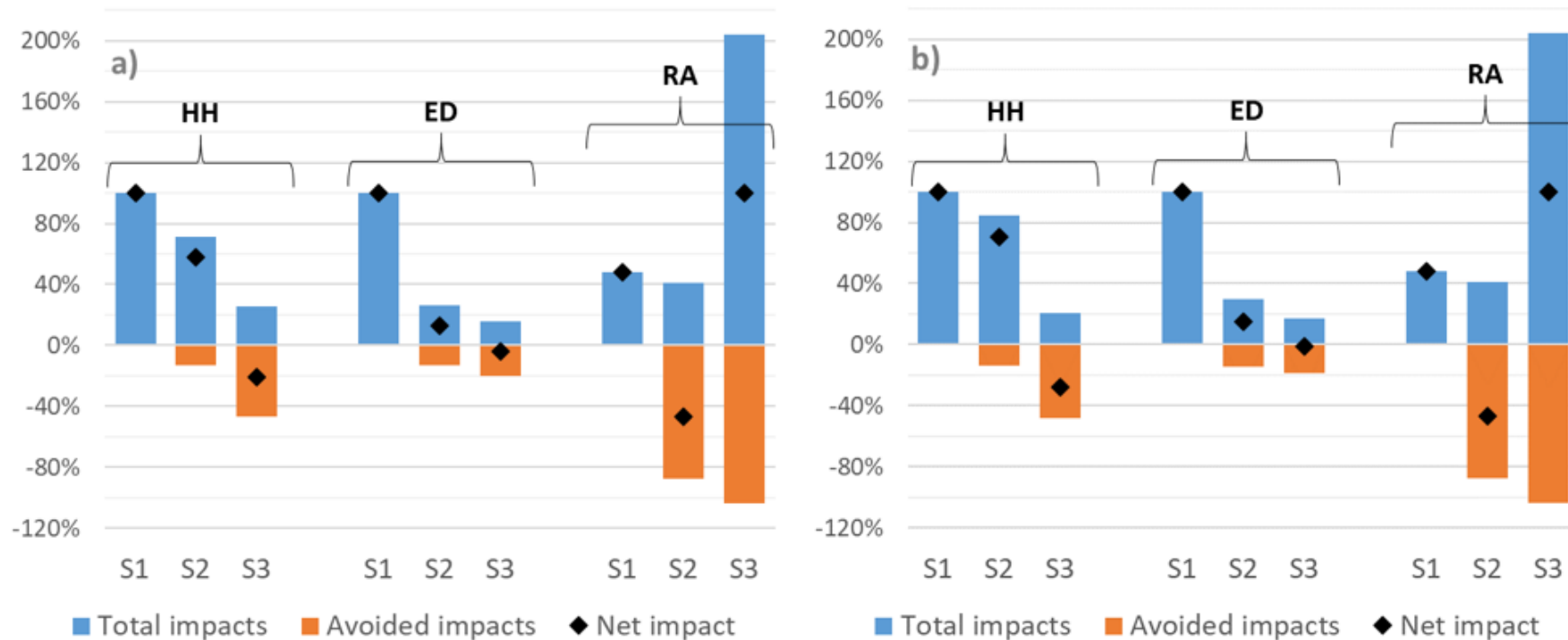
Opcija	Prednosti	Nedostaci	Trošak	Uticaj na životnu sredinu	Skalabilnost / Trenutna primena
Primena u poljoprivredi (đubrenje zemljišta)	Reciklaža hranljivih materija (N, P, K); poboljšava plodnost i strukturu zemljišta; niska cena	Rizik od teških metala, mikroplastike, patogena; strogi propisi; problemi sa javnim prihvatanjem	Nizak	Pozitivno ako se pravilno upravlja (obogaćenje zemljišta); negativno ako se akumuliraju zagađujuće materije	Široko primenjeno u EU, SAD, ali ograničeno u nekim regionima
Kompostiranje	Dobija se stabilizovan zemljišni dodatak; smanjuje patogene i mirise; može se plasirati na tržište	Potrebni dodaci (biljni otpad); kontrola mirisa; moguća prisutnost kontaminanata	Nizak–srednji	Uglavnom pozitivno (reciklaža organske materije); mogući mirisi i procurevanje	Skalabilno na opštinskom/regionalnom nivou
Anaerobna digestija (AD)	Proizvodnja obnovljive energije (biogas); smanjenje zapremine i mirisa; stabilizacija mulja	Digestat zahteva dalju obradu/odlaganje; visoki kapitalni i operativni troškovi; ograničeno uklanjanje mikropolutanata	Srednji–visok	Pozitivno (smanjuje GHG, dobija se energija); ali digestat može širiti kontaminante	Sve šira primena globalno
Spaljivanje (mono-/ko-spaljivanje)	>90% smanjenja zapremine; uništava patogene i organske polutante; moguća proizvodnja energije i oporavak P iz pepela	Visoki troškovi; emisije u vazduh; gubitak azota i organske materije	Visok	Mešovito: uništava polutante ali emituje GHG i zahteva kontrolu emisija	Veliki objekti u EU, Japanu
Deponovanje	Jednostavno, široko dostupno; pogodno za mulj koji se ne može iskoristiti	Zabranjeno/ograničeno u mnogim zemljama; rizik od procurivanja i emisije metana; gubitak resursa	Nizak (kratkoročno), ali visok dugoročno	Negativno (GHG, zagađenje podzemnih voda, gubitak resursa)	U opadanju, minimalno u EU
Termička hidroliza + AD (napredna obrada)	Povećava prinos biogasa; bolja higijenska sigurnost; lakše isušivanje mulja	Visoka potrošnja energije; skupa tehnologija	Visok	Pozitivno ako je energetski balans dobar	Rastuća primena u velikim postrojenjima (npr. UK, Skandinavija)
Piroliza / Gasifikacija	Dobijanje biočara, sinteznog gasa, bio-ulja; imobilizacija teških metala	Tehnologija u razvoju; visoki troškovi	Srednji–visok	Potencijalno pozitivno (sekvestracija C, oporavak P)	Pilot/demonstracioni nivo
Oporavak hranljivih materija (struvit, ekstrakcija iz pepela)	Vraćanje ključnih hranljivih materija (P, N); smanjuje naslage u cevima	Složeni procesi; dodatni troškovi; tržišna prihvatljivost varira	Srednji–visok	Pozitivno (cirkularna ekonomija, oporavak resursa)	U razvoju, sve važnije zbog EU politika za P

LCA





- GW – Globalno zagrevanje
 WET – Ekotoksično za sladke vode
 MET – Ekotoksično za mora
 FD – Nedostatak fosilnih resursa
 WEU – Eutrofikacija sladkih voda
 MEU – Eutrofikacija mora
 HTc – Kancerogena toksičnost za ljude
 I – Jonizujuće zračenje
 LU – Korišćenje zemljišta
 TET – Ekotoksično za zemljište
 MD – Nedostatak mineralnih resursa
 OST – Oštećenje stratosferskog ozonskog omotača
 OHH – Formiranje ozona, Ljudsko zdravlje
 OTE – Formiranje ozona, Kopneni ekosistemi
 TAC – Kopnena acidifikacija
 HTnc – Nekancerogena toksičnost za ljude
 PM – Formiranje finih čestica



HH – Šteta po ljudsko zdravlje; ED – Šteta po kvalitet ekosistema; RA – Šteta po dostupnost resursa

Uporedni rezultati LCIA na nivou krajnjih tačaka sa (a) i bez (b) razmatranja dugoročnih uticaja za tri scenarija.

Vrednost od 100% predstavlja scenario sa najvećim uticajem u svakoj kategoriji štete.

Primena mulja na zemljište?

- 
- **Neke države članice zabranile su upotrebu mulja u poljoprivredi**, npr. regioni Brisela i Flandrije u Belgiji i Slovačkoj.
 - Nemačka i Austrija se fokusiraju na **reciklažu fosfora** iz mulja i pepela nakon spaljivanja u monoincineratorima.
 - Nekoliko zemalja je **dozvolilo upotrebu neobrađenog mulja** pod određenim odobrenim uslovima (npr. Francuska, Švedska i Estonija).
 - **Neki imaju specifične zahteve za tretman** kao što su stabilizacija, termička obrada, kompostiranje ili digestija pre upotrebe (Austrija, Danska, Finska i Poljska), čime se prevazilaze zahtevi SSD koja ne propisuje vrstu tretmana koji se primenjuje.

Evalucioni dokument SSD, maj 2023.

- Cilj Direktive o mulju da podstakne oporavak nutrijenata u skladu sa Akcionim planom kružne ekonomije pod okriljem Zelenog dogovora.
- Rekuperacija nutrijenata – obezbeđivanje snabdevanja hranom.
- Anaerobna digestija – obezbeđivanje nutrijenata i biogasa.
- Težnja visokom nivou zaštite životne sredine – revidiranje liste zagađujućih supstanci (monitoring) – procena uticaja na zemljište i ljude
- Mere upravljanja rizikom – granične koncentracije, protokoli tretmana ili primene (količine tokom nekoliko godina, primena u određenim periodima godine itd.).
- Ne postoje informacije vezane za potrebe biljaka za nutrijentima, što bi moglo da dovede do neoptimalne upotrebe mulja ili viška hranljivih materija, a onda i do zagađenja podzemnih voda. Takođe nije poznato da li se mulj primenjuje van perioda rasta biljaka, kao npr. nedostaju podaci o privremenom skladištenju mulja i kapacitetima.

Evaluacija u skladu sa
[New circular economy action plan](#)
(CEAP)



Brussels, 22.5.2023
SWD(2023) 157 final

COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT

EVALUATION

Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture

{SWD(2023) 158 final}

EU Direktiva VS Uredbe RS

Granične vrednosti emisije zagađujućih materija u mulju iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za upotrebu u poljoprivredi			
	SSD 86/278/EEC	Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodama i rokovima za njihovo postizanje (Sl. glasnik RS, 67/2011, 48/2012, 1/2016)	Uredba o načinu i postupku upravljanja muljem iz postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl. glasnik RS, 103/2023)
Neorganske zagađujuće supstance (mg/kg SM)			
Cd	20-40	2.5	2.5
Cu	1000-1750	700	700
Ni	300-400	60	60
Pb	750-1200	120	120
Zn	2500-4000	1500	1500
Hg	16-25	1.6	1.6
Cr	/	100	100
As	/	15	/
Organske zagađujuće supstance			
AOX (mg/kg SM)	/	400	/
PCB (mg/kg SM)	/	0.1 (po kogeneru)	/
PCCD/F (mg/kg SM)	/	30	/
Patogeni			
Salmonella (MPN/10 g SM)	/	0-10	0-10
Enterovirus (MPCN/10 g SM)	/	3	3

Uredba o načinu i postupku upravljanja muljem iz postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl. glasnik RS, 103/2023)

Mulj u poljoprivredi se koristi na način koji vodi računa o potrebama biljaka za prihranom, čuva kvalitet zemljišta (održava ili poboljšava njegove fizičke i biološke osobine) i čuva kvalitet površinskih i podzemnih voda.

Član 8. Zabranjeno je koristiti mulj na:

- 1) travnjaci i pašnjaci koji se koriste za ispašu stoke;
- 2) površine na kojima se uzgaja krmno bilje najmanje dva meseca pre žetve;
- 3) zemljište na kome rastu zasadi voća i povrća, osim voćaka;
- 4) zemljište namenjeno za uzgoj voća i povrća koje može biti u neposrednom kontaktu sa zemljom i koje se može jesti sirovo, u periodu od najmanje deset meseci pre početka berbe, kao i tokom berbe;
- 5) zemljište na kome postoji opasnost od ispiranja mulja u površinske vode;
- 6) zemljište sa pH vrednošću nižom od 5;
- 7) zemljište kraškog polja, plitko ili skeletno kraško zemljište;
- 8) zemljište zasićeno vodom, zasneženo i na zaleđenom poljoprivrednom zemljištu;
- 9) u priobalnim ili poplavljenim rečnim područjima i vodozaštitnim područjima;
- 10) u zonama izloženim riziku od prodora nitrata u površinske i podzemne vode.

Član 12: Dozvoljeno je korišćenje najviše 1,2 t suve materije mulja po hektaru zemljišta godišnje.



PPOV

*Monitoring kvaliteta mulja
2 puta/god*

Analiza mulja obuhvata sledeće parametre:

- SM%;
- TOC %;
- pH;
- TN%;
- TP %;
- Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr and Hg in mg/kg;
- *Salmonella, Enterovirus.*



Poljoprivrednik

*Monitoring kvaliteta zemljišta
jedanput godišnje*

Analiza zemljišta na koje se primenjuje mulj obuhvata sledeće parametre:

- pH;
- Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr and Hg in mg/kg.

Hvala na pažnji



djurdja.kerkez@dh.uns.ac.rs